

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
ESCUELA DE POSGRADO
SECCIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES



TESIS

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**“CARACTERIZACION DE SITIOS CONTAMINADOS POR
HIDROCARBUROS EN PERU”**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Mgtr. ANTÍA RANGEL VEGA

Línea de investigación; “Aprovechamiento y gestión sostenible del
ambiente y los recursos naturales” Sub línea de investigación;
“Evaluación de impacto ambiental”

**PIURA – PERU
ENERO 2020**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
ESCUELA DE POSGRADO
SECCIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES




**“CARACTERIZACION DE SITIOS CONTAMINADOS POR
HIDROCARBUROS EN PERU”**

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES
ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.



M.Sc ANTIA RANGEL VEGA
EJECUTORA



Dr. JOSÉ RODRIGUEZ LICHTENHELD
ASESOR

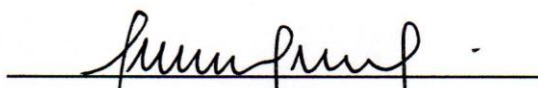
PIURA – PERU
ENERO 2020

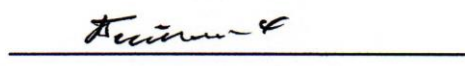
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
ESCUELA DE POSGRADO
SECCIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES

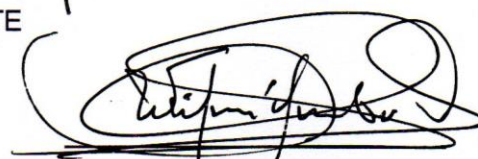


**“CARACTERIZACION DE SITIOS CONTAMINADOS POR
HIDROCARBUROS EN PERU”**

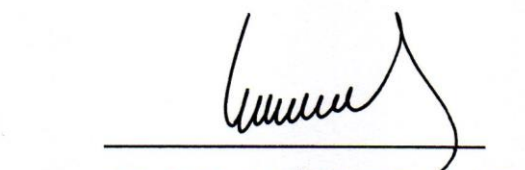
APROBADO EN CONTENIDO Y ESTILO POR


DR.CESAR AUGUSTO REYES PEÑA
PRESIDENTE


DR.HIPÓLITO TUME CHAPA
SECRETARIO


DR.WILMER ARÉVALO NIMA
VOCAL


DR. RODOLFO GARCÍA MARTINEZ
VOCAL


DR.OSCAR VÁSQUEZ RAMOS
VOCAL

ESCUELA DE POSGRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para la sustentación de la Tesis, para optar el Grado Académico de Doctor en **CIENCIAS AMBIENTALES** presentada por:

RANGEL VEGA - ANTIA

Con el asesoramiento del DR. JOSE RAUL RODRIGUEZ LICHTENHELDT, denominada:

"CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONATMINADOS POR HIDROCARBUROS EN PERÚ"

Oídas las respuestas y absueltas las observaciones formuladas, se declara:

| APROBADO | | | | DESAPROBADO |
|-----------|---------------|-------|-----------|-------------|
| Excelente | Sobresaliente | Buena | Aceptable | |
| _____ | <u>X</u> | _____ | _____ | _____ |

En consecuencia, previa aprobación del Art.º 83, del Reglamento General de la Escuela de Postgrado, queda en condiciones de ser calificado **APTA** para obtener el Grado Académico de Doctor en **CIENCIAS AMBIENTALES**. De conformidad con lo estipulado en la ley.

PIURA, MIÉRCOLES 8 DE ENERO DEL 2020.

DR. CESAR AUGUSTO REYES PEÑA
PRESIDENTE

DR. HIPOLITO TUME CHAPA
SECRETARIO

DR. WILMER AREVALO NIMA
VOCAL

DR. RODOLFO GARCIA MARTINEZ
VOCAL

DR. OSCAR VASQUEZ RAMOS
VOCAL

C Antía Rangel Vega

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi **madre**, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional , motivándome a ser perseverante en mis metas, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntas, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mis tres tesoros : **Aarom, Andrea y Joshua** por ser mis motores y motivación, por su gran paciencia en mi ausencia durante el tiempo de duración de mis estudios doctorales.

A mi amado esposo **Juan Manuel**, hermano ,amigo y compañero de estudios por estar siempre presente a mi lado apoyándonos mutuamente.

A mi adoradada hermana – amiga **Rosario**, quien en todo momento brinda su gran apoyo incondicional en llegar a ser mas que tía Madre para mis hijos, y por supuesto a mi padre Silvio por su amor.

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso por su infinito amor, por acompañarme siempre en mi vida, y darme la fortaleza, salud para culminar este trabajo de investigación, para ti Dios toda la Gloria y la Honra.

A mi Madre **Antía Vega Hernandez**, te amo y te amaré siempre ; fuiste y seguirás siendo la mejor guía espiritual.

A mi amada hermana Rosario, quien en todo momento me ha apoyado y ha respaldado mis metas a culminarlas.

A mis hijos : Aarom, Andrea y Joshua mis grandes Tesoros, por ser mi fuente de inspiración y motivación, mi alegría, los amo mucho.

A mi amado esposo Juan Manuel, compañero y sobretodo amigo , que siempre ha confiado en mi y me ha apoyado en todo momento, gracias por tu amor y paciencia.

Me siento realmente bendecida por Dios, por darme esta hermosa familia.

Antía Rangel Vega

INDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN | 13 |
| SUMMARY | 14 |
| CAPITULO I..... | 16 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 16 |
| 1.1 Descripción del problema:..... | 16 |
| 1.2 Hipótesis: | 17 |
| 1.3 Identificación de las variables..... | 17 |
| 1.4 Objetivos de la investigación. | 17 |
| 1.4.1 Objetivo general: | 17 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos: | 17 |
| 1.5 Justificación e importancia | 18 |
| CAPITULO II | 19 |
| MARCO TEORICO | 19 |
| 2.1 Aspectos generales | 19 |
| 2.1.1 Ubicación y Accesibilidad | 19 |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales | 21 |
| 2.1.3 Antecedentes Internacionales | 24 |
| 2.1.4 Petróleo crudo..... | 29 |
| 2.1.5 Suelos contaminados con hidrocarburos. | 31 |
| 2.1.6 Riesgo de contaminación en las actividades de hidrocarburos..... | 32 |
| 2.1.7 Caracterización de sitios contaminados por hidrocarburos. | 33 |
| 2.1.7.1 Estructura del plan de muestreo de detalle | 34 |
| 2.1.7.2 Muestreo de suelo en el marco de las buenas prácticas de investigación. | 35 |
| 2.1.7.3 Muestreo de agua para la caracterización de Sitios Contaminados. .. | 52 |
| 2.1.7.4 Análisis de Información y Desarrollo del Modelo conceptual | 65 |
| 2.1.7.5 Caracterización de alta resolución (HRSC)..... | 67 |
| 2.1.8 Definiciones | 73 |
| 2.2 Marco Normativo Nacional | 77 |
| 2.3 Antecedentes..... | 78 |
| 2.3.1 Sitios contaminados en el noroeste del Peru..... | 78 |
| 2.3.2 Sitios contaminados en selva norte | 81 |
| 2.3.3 Oleoducto Norperuano | 88 |
| CAPITULO III | 92 |
| METODOLOGIA..... | 92 |

| | |
|------------------------------------------------|-----|
| 3.1 Nivel de Investigación..... | 93 |
| 3.2 Métodos y Diseño de la Investigación | 93 |
| Métodos | 93 |
| CAPITULO IV | 96 |
| RESULTADOS Y DISCUSIONES | 96 |
| 4.1 Resultados | 96 |
| CONCLUSIONES..... | 105 |
| RECOMENDACIONES..... | 108 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 109 |

Índice de imágenes

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 2. 1: Ubicación de lotes del Noroeste del Perú | 19 |
| Imagen 2. 2: Ubicación del Oleoducto Norperuano | 20 |
| Imagen 2. 3: Lotes de la Selva Norte (Lote192 o Ex 1AB y Lote 8) | 20 |
| Imagen 2. 4: Colocación de Lainer en el equipo de muestreo de suelo | 37 |
| Imagen 2. 5: Perforación ambiental de suelo superficial y sub-superficial con barrilete hueco, liner y equipo "directpush" Geoprobe | 37 |
| Imagen 2. 6 Preparación para la toma de muestra de los liners | 39 |
| Imagen 2. 7 Muestreo de núcleo por intervalo, cuarteamiento y obtención de muestra | 42 |
| Imagen 2. 8: Toma de muestras Dependiendo del objetivo de la investigación y del modelo conceptual, las profundidades y conceptos de toma: de muestras pueden variar | 43 |
| Imagen 2. 9: Muestra compuesta para análisis de metal es y COSVs | 45 |
| Imagen 2. 10. Muestra compuesta | 46 |
| Imagen 2. 11 Determinación de COVs con PID | 50 |
| Imagen 2. 12 Toma de muestras individuales con el PID | 50 |
| Imagen 2. 13: Disposición temporal de residuos | 52 |
| Imagen 2. 14. Perforación con hollow stem auger drill / barrilete helicoidal hueco | 54 |
| Imagen 2. 15. Instalación de pozo de monitoreo con tubo de PVC geo mecánico y filtro ranurado | 55 |
| Imagen 2. 16 Inyección de la grava/arena del pre-filtro | 56 |
| Imagen 2. 17: pre-filtro | 57 |
| Imagen 2. 18: Posición del pre-filtro de arena | 57 |
| Imagen 2. 19: Purga y limpieza del pozo | 59 |
| Imagen 2. 20: Impermeabilización con bentonita | 60 |
| Imagen 2. 21: Limpieza de equipo | 61 |
| Imagen 2. 22: Purga del pozo | 64 |
| Imagen 2. 23: Esquema con Desplazamiento de Contaminantes desde una Fuente de Contaminación | 66 |
| Imagen 2. 24: Cacterización de alta resolución | 67 |
| Imagen 2. 25. Ejemplo de datos recopilados en una sola pulsación de la sonda LLMiHpt | 68 |
| Imagen 2. 26: Visualización de los impactos del CVOC subsuperficial en el sitio de trabajo del estudio de caso | 69 |
| Imagen 2. 27: Herramientas de alta resolución que se empujan y recopilan datos: precisión vertical de hasta 1 cm | 70 |
| Imagen 2. 28: Correlación de datos analíticos del suelo y de alta resolución | 70 |
| Imagen 2. 29: Concentraciones estimadas de CVOC en el suelo: basadas en los datos de alta resolución | 71 |
| Imagen 2. 30: Permeabilidad estimada del suelo - Conductividad hidráulica (cm / s) - Visualización 3D - Precisión de escala de hasta 1 cm | 72 |
| Imagen 2. 31: Suelos contaminados identificados como PASH de nivel de riesgo alto en las categorías de uso de suelo de la ZEE de Piura | 79 |
| Imagen 2. 32: Priorización de áreas que requieren remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura | 80 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 2. 33: Distribución espacial de la priorización de áreas que requieren remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura. | 81 |
| Imagen 2. 34. El movimiento de los contaminantes procedentes de fuentes de campos petroleros a través del suelo y agua subterránea | 84 |
| Imagen 2. 35: Oleoducto Norperuano | 89 |
| Imagen 2. 36: Producción de crudo de lotes 192, 8 y 67 | 89 |
| Imagen 2. 37: Fallas del ONP tramo I 2011 – 2016 | 90 |
| Imagen 2. 38: Fallas del ONP tramo II 2011 – 2016 | 91 |
| Imagen 2. 39: Sitios potencialmente contaminados por hidrocarburos | 91 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2. 1: Gestión de sitios contaminados en Perú | 23 |
| Tabla 2. 2: Estructura de un plan de muestreo | 34 |
| Tabla 2. 3: Relación entre abertura de ranuras y | 58 |
| Tabla 2. 4: Rangos de variación para la estabilidad durante la purga | 63 |
| Tabla 2. 5: El Modelo Conceptual puede ser representado mediante un diagrama | 66 |
| Tabla 2. 6: Tipo y cantidad de pasivos en el lote 192 | 86 |
| Tabla 2. 7: Pasivos Identificados por Plus Petrol en la cuenca del Lote 192 | 86 |
| Tabla 2. 8: Parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental | 87 |
| Tabla 2. 9: Parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental | 88 |

INTRODUCCIÓN

Al sector de hidrocarburos en el Perú, lo precede un sin número de títulos de nobleza petrolífera, pues cuando el mundo sólo conocía entre los numerosos componentes de esa compleja sustancia natural, esto es antes del siglo XX -la brea o asfalto-, ya nuestro suelo era explotado en cierta escala; y en los tiempos modernos, en los que el petróleo marca una nueva era que se inicia a partir de mediados del siglo XIX, en 1823, antes que ningún otro país de Hispano-América, las primeras perforaciones se dieron: Costa norte 1863, Selva central 1939, Selva norte 1971, Selva sur desde 2004.

Sin embargo como a toda actividad extractiva de recursos no renovables también lo antecede muchos Impactos generados por falta de conocimiento, tecnología y de una regulación ambiental, las mismas con el venir de los años, con el pedido y exigencias de los conflictos socio ambientales en el Perú es que se crea el Ministerio del Ambiente en Mayo de 2008, a través del Decreto Legislativo 1013, cuyo objeto es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

RESUMEN

La contaminación del suelo y las aguas subterráneas en el sector hidrocarburos es diversa y está asociada en su mayoría a los pasivos ambientales en el noroeste con casi 150 años y en la selva norte con casi 50 años de exploración y explotación, donde no se conocía de protección ambiental y las regulaciones ambientales no estaban en el que hacer de la actividad petrolera (deficiente gestión de residuos, materias primas y/o productos en los lotes, vertido de residuos sólidos y líquidos en condiciones inadecuadas, accidentes, etc.) y hoy a menudo es un problema ambiental difícil de diagnosticar y solucionar.

La investigación de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas de una contaminación puede entenderse, en sentido amplio, como el conjunto de labores a desarrollar para obtener la información necesaria para diagnosticar la problemática de la contaminación. Tal problemática puede hacer referencia a distintos aspectos: riesgos que plantea la contaminación para la salud humana y el medio ambiente, repercusiones de carácter legal y económico derivadas de la contaminación, pérdida de valor del sitio como consecuencia de la contaminación existente, etc.

Las labores de investigación tienen cabida en varias de las tres (3) fases de una estrategia genérica para la recuperación de un espacio contaminado: Fase I de identificación de sitio contaminado la Fase II Caracterización del sitio contaminado, esta fase representa la investigación de carácter científico que determinara la extensión tanto horizontal como vertical del contaminante para ello es importante los muestreos analíticos de suelo, agua, sedimento y estudios complementarios que contribuyan a realizar un modelo conceptual final del sitio para conjuntamente con el estudio de riesgo a la salud y al medio ambiente se elaboren la propuesta de remediación que es la Fase III.

En todo caso, el enfoque y contenido del programa de investigación de un sitio contaminado por hidrocarburo están absolutamente condicionados por los objetivos de dicha investigación.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, sitios contaminados, pasivos ambientales, contaminación por hidrocarburos.

SUMMARY

The contamination of the soil and groundwater in the hydrocarbons sector is diverse and is mostly associated with the passive environment in the northwest with almost 150 years and in the northern jungle with almost 50 years of exploration and exploitation, where it was not known Environmental protection and environmental regulations were not in which to do the oil activity (poor management of waste, raw materials and / or products in the lots, dumping of solid and liquid waste under inadequate conditions, accidents, etc.) and today to It is often a difficult environmental problem to diagnose and solve.

The investigation of the contamination of the soil and groundwater of a contamination can be understood, in a broad sense, as the set of tasks to be carried out to obtain the necessary information to diagnose the problem of contamination. Such a problem can refer to different aspects: risks posed by pollution for human health and the environment, legal and economic repercussions derived from pollution, loss of site value as a result of existing pollution, etc.

The research work has a place in several of the three (3) phases of a generic strategy for the recovery of a contaminated space: Phase I of identification of contaminated site Phase II Characterization of the contaminated site, this phase represents scientific research that will determine both horizontal and pouring of the contaminant for this purpose, it is important the analytical sampling of soil, water, sediment and complementary studies that contribute to make a final conceptual model of the site in conjunction with the study of risk to health and the environment the remediation proposal that is Phase III is elaborated.

In any case, the focus and content of the research program of a hydrocarbon contaminated site are absolutely conditioned by the objectives of said research.

KEY WORDS: Characterization, contaminated sites, environmental liabilities, oil pollution.

RESUMO

A contaminação do solo e das águas subterrâneas no setor de hidrocarbonetos é diversa e está principalmente associada a passivos ambientais no Noroeste com quase 150 anos e na selva norte com quase 50 anos de exploração e exploração, onde não era conhecido. A proteção ambiental e os regulamentos ambientais não estavam em que a atividade petrolífera (má gestão de resíduos, matérias-primas e / ou produtos nos lotes, despejo de resíduos sólidos e líquidos em condições inadequadas, acidentes etc.) e hoje para muitas vezes, é um problema ambiental difícil de diagnosticar e resolver.

A investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas de uma contaminação pode ser entendida, em sentido amplo, como o conjunto de tarefas a serem realizadas para obter as informações necessárias para diagnosticar o problema da contaminação. Esse problema pode se referir a diferentes aspectos: riscos da poluição para a saúde humana e o meio ambiente, repercussões jurídicas e econômicas decorrentes da poluição, perda de valor do local como resultado da poluição existente, etc.

O trabalho de pesquisa está presente em várias das três (3) fases de uma estratégia genérica para a recuperação de um espaço contaminado: Fase I de identificação do local contaminado Fase II Caracterização do local contaminado, esta fase representa pesquisa científica Para determinar a extensão horizontal e vertical do poluente, é importante analisar estudos de solo, água, sedimentos e complementares que contribuam para um modelo conceitual final do local em conjunto com o estudo de riscos à saúde e ao meio ambiente. a proposta de remediação que é a Fase III é elaborada.

De qualquer forma, o foco e o conteúdo do programa de pesquisa de um local contaminado com hidrocarboneto são absolutamente condicionados pelos objetivos da referida pesquisa.

PALAVRAS CHAVE: Caracterização, áreas contaminadas, passivos ambientais, poluição por petróleo.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Descripción del problema:

Si bien todos los pasivos ambientales no se pueden considerar como sitios contaminados, actualmente existen 3457 pasivos ambientales en el subsector hidrocarburos de alto, mediano y bajo nivel de afectación tanto al medio ambiente, salud y población identificados por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), con un trabajo conjunto con organismos del estado como lo son OSINERGMIN, Ministerio de Energía y Minas y Ministerio del Ambiente (LEY N° 29134 - Ley que Regula los Pasivos Ambientales del subsector hidrocarburos, Art. 6 - 2007) ocasionados por la actividad hidrocarburífero del Perú desde sus inicios en 1863 hasta la actualidad.

Los sitios contaminados se vienen acrecentando por las actividades de explotación de hidrocarburos así como los problemas sociales donde se puede evidenciar sabotajes como medidas de protesta a la falta de gobernabilidad por parte del estado peruano, no obstante con los estudios de identificación de pasivos ambientales antes descritos no se puede establecer las responsabilidades y determinar las fuentes de potenciales de contaminación debido a muchos factores que con el venir de los años han ocasionado potenciales fuentes de contaminación o en su defecto por su característica los hidrocarburos meteorizados quedan las fracciones más pesadas como las resinas y asfáltenos, aunque no son tóxicas pero tienen un efecto visual y también físico lo que afecta al desarrollo de la industria debido a los conflictos socio ambientales que se generan por la falta de caracterización de los sitios contaminados con el fin de determinar las medidas de remediación.

La caracterización de sitios contaminados corresponde a la Fase II donde se busca determinar la extensión espacial de la contaminación a través de muestreo de detalles partiendo de un modelo conceptual inicial en base a una etapa preliminar Levantamiento Técnico de Sitio (LTS) donde el objetivo de la caracterización es determinar las fuentes de contaminación, los medios de transporte, los posibles receptores esto acompañado de las características del hidrocarburo se elabora el modelo conceptual final que permitirá establecer las medidas de remediación y restauración de los sitios Impactados.

1.2 Hipótesis:

La “Caracterización de Sitios Contaminados por Hidrocarburos. Perú”, garantiza la mejor selección de metodologías de remediación y previene los Riesgos a la Salud y al Medio Ambiente.

1.3 Identificación de las variables

La caracterización de los sitios contaminados específicamente en el Perú está en función de un gran número de variables, la medición de algunas de las más importantes son las que utilizan tecnologías y metodologías multidisciplinarias.

Principales variables:

- Escenarios sensibles a los impactos, por su gran diversidad de flora y fauna.
- Conflictos socio ambientales que dificultan las labores de investigación de sitios contaminados.
- Altos costos logísticos y tecnológicos en la caracterización de sitios contaminados.
- Gran número de muestras analíticas y falta de representatividad de las mismas por los constantes cambios en el comportamiento de los contaminantes.

1.4 Objetivos de la investigación.

1.4.1 Objetivo general:

Analizar los procedimientos en la “Caracterización de sitios contaminados del sector Hidrocarburos en Perú”.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- a) Determinar los escenarios de los sitios contaminados en el Perú y las metodologías para su caracterización.
- b) Determinar un análisis de los lineamientos de las normas técnicas peruanas y la ASTM de EEUU.

- c) Elaborar recomendaciones para la caracterización sitios contaminados por hidrocarburos.

1.5 Justificación e importancia

Los numerosos conflictos que se generan en torno al desarrollo de las actividades de la industria del petróleo. Muchas personas se organizan, denuncian y luchan en defensa de la salud, la vivienda, los medios de vida y subsistencia tradicionales. Los Pasivos ambientales y Sitios contaminados a consecuencias de las actividades de exploración y explotación, requieren transparencia y comunicación en las políticas ambientales en acorde a la geopolítica del territorio donde se desenvuelven las actividades de los hidrocarburos.

Es importante caracterizar los sitios contaminados con el fin de transparentar las políticas ambientales en el sector hidrocarburos, la caracterización son estudios de carácter Científicos multidisciplinario por ende de difícil percepción por parte de la sociedad, por ello es sumamente importante la difusión de las normas técnicas y metodologías de Caracterización, estas últimas dependerán de la ubicación geopolítica donde se desarrolla las actividades históricas de la industria de los hidrocarburos.

En el Perú contamos con dos regiones de muy marcadas diferencias en cuanto a su geografía pero que comparten la historia de las actividades de explotación de hidrocarburos, estos son: La costa norte (Piura y Tumbes) y la selva norte (Iquitos), dos regiones donde por sus características diferentes, la caracterización de los sitios contaminados se vienen intensificando en la selva norte dejando aun relegado el norte del país y con ello un deterioro ecológico en el litoral peruano.

Los derrames y fugas de hidrocarburos en las unidades menores (Estaciones de servicio, planta de ventas, otros) constituyen los mayores contaminantes de las aguas subterráneas. En particular, los hidrocarburos líquidos en fase no acuosa (NAPL) presentan una baja solubilidad en agua, se infiltran en el subsuelo y pueden alcanzar el agua subterránea (Zhou y Blunt, 1997). Gran parte de la contaminación ocurre por fugas, derrames y disposición de NAPL en las aguas subterráneas (Rodríguez, 2003). Estos compuestos orgánicos representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana (EPA, 2007).

CAPITULO II

MARCO TEORICO

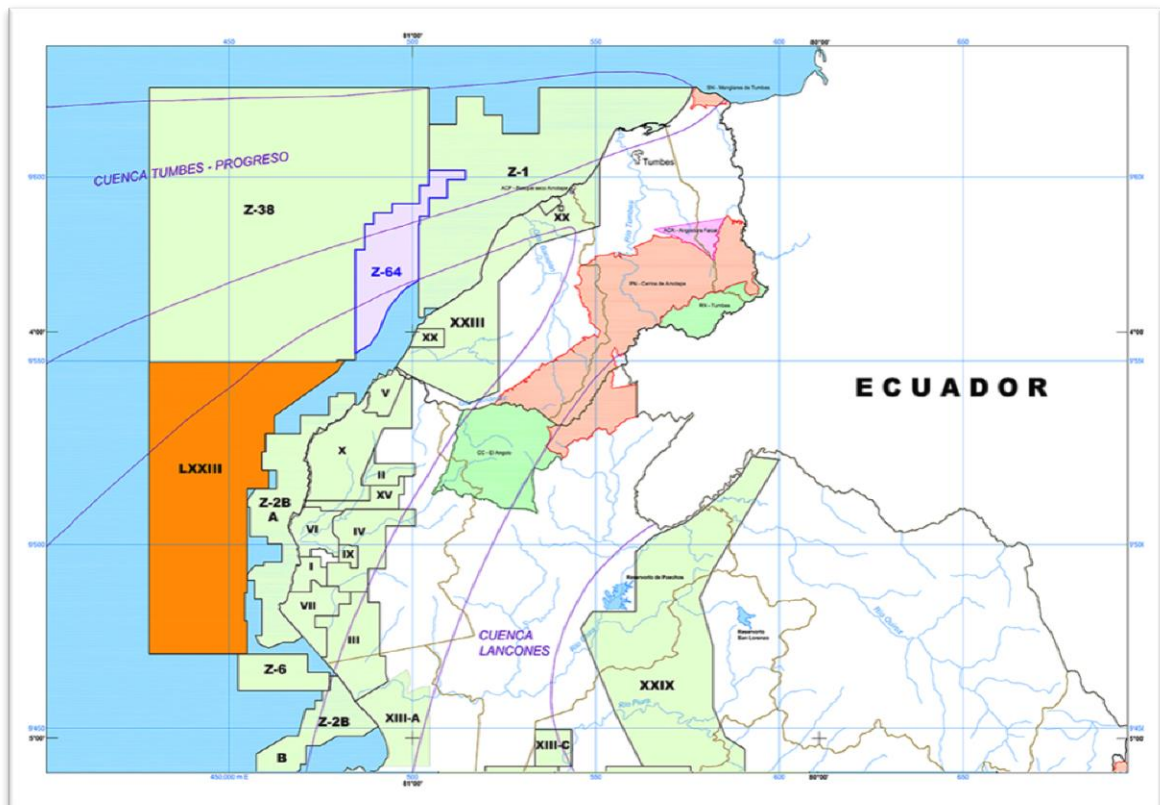
2.1 Aspectos generales

2.1.1 Ubicación y Accesibilidad

La presente investigación está enmarcada en lugares de mayor actividad de exploración y explotación de hidrocarburos y que representa dos escenarios muy distintos en cuanto a su flora y fauna y características geopolíticas.

El noroeste del Perú cuenta con más de 150 años de historia hidrocarbúfero, historia que refleja un costo ambiental que en la actualidad genera impactos a la salud y al medio ambiente a través de los pasivos ambientales y sitios contaminados producto de las actividades extractivas.

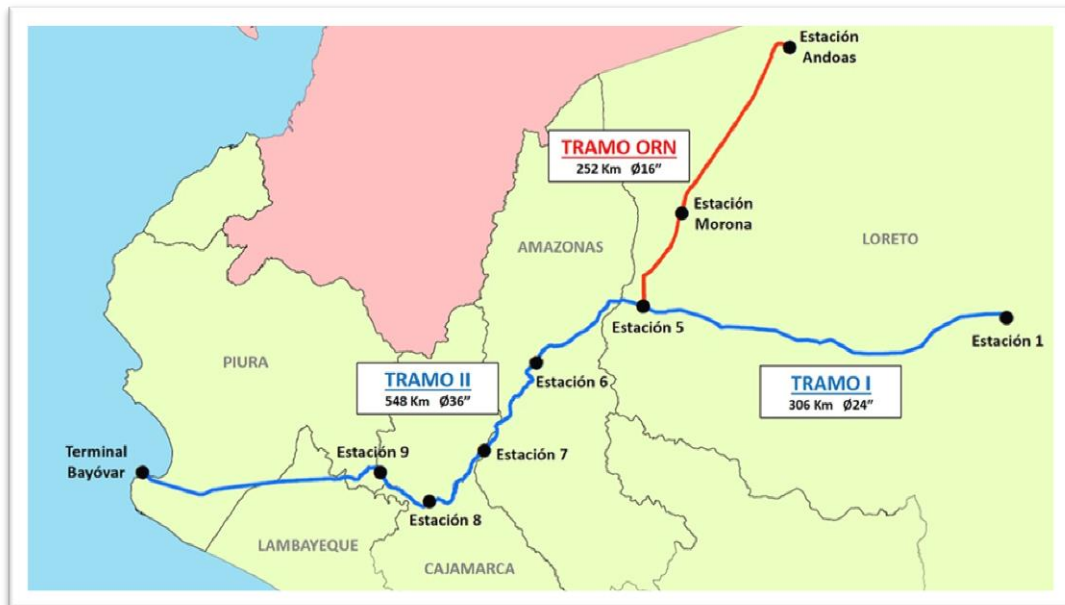
Imagen 2. 1: Ubicación de lotes del Noroeste del Perú



Fuente: PERUPETRO

La selva peruana con casi 50 años de explotación de hidrocarburos representa un riesgo alto a la salud y al medio ambiente y las características hidrogeológicas, ecológicas y geopolíticas dificultan las labores de identificación y gestión de los sitios contaminados.

Imagen 2. 2: Ubicación del Oleoducto Norperuano



Fuente: PETROPERÚ

Imagen 2. 3: Lotes de la Selva Norte (Lote 192 o Ex 1AB y Lote 8)



Fuente: OSINERGMIN

2.1.2 Antecedentes nacionales

En Perú no se conoce actualmente la magnitud del problema en relación a la contaminación del suelo. Pese a esto, la caracterización de sitios contaminados por hidrocarburos brinda un análisis conceptual del contaminante y su distribución en el medio físico con el fin de emprender acciones de remediación, de forma que se puedan prevenir los impactos negativos desde el punto de vista ambiental y de los efectos en la salud de las personas. A sí mismo la gestión de sitios contaminados en Perú se inicia bajo un enfoque multisectorial presidido por el Ministerio del Ambiente.

Los criterios para la gestión de sitios contaminados en el Perú están enmarcados en el decreto supremo N° 012-2017 MINAM. Este marco regulatorio contempla tres fases para su aplicación:

Fase de caracterización:

La fase de caracterización se ejecuta cuando los resultados de la fase de identificación determinan la existencia de un sitio contaminado, y tiene como objetivo definir :

- Las fuentes y focos de contaminación.
- La magnitud, tipo, extensión y profundidad de la contaminación del suelo y de otros componentes ambientales afectados.
- Los potenciales riesgos a la salud y al ambiente, asociados a la contaminación del sitio.
- La necesidad de ejecutar medidas de remediación.

Esta fase comprende las siguientes etapas:

a) Muestreo de detalle

Es aquel que permite determinar el área y volumen de suelo contaminado, la cantidad y distribución espacial de los contaminantes en el sitio, sus tasas móviles y su posible extensión hacia otros componentes ambientales.

El muestreo de detalle se desarrolla en base al modelo conceptual del sitio y su alcance se determina en función a los objetivos de la caracterización del sitio.

b) Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) Comprende la elaboración de un estudio detallado que tiene por objeto:

- Analizar los riesgos a la salud y el ambiente, asociados al sitio contaminado.

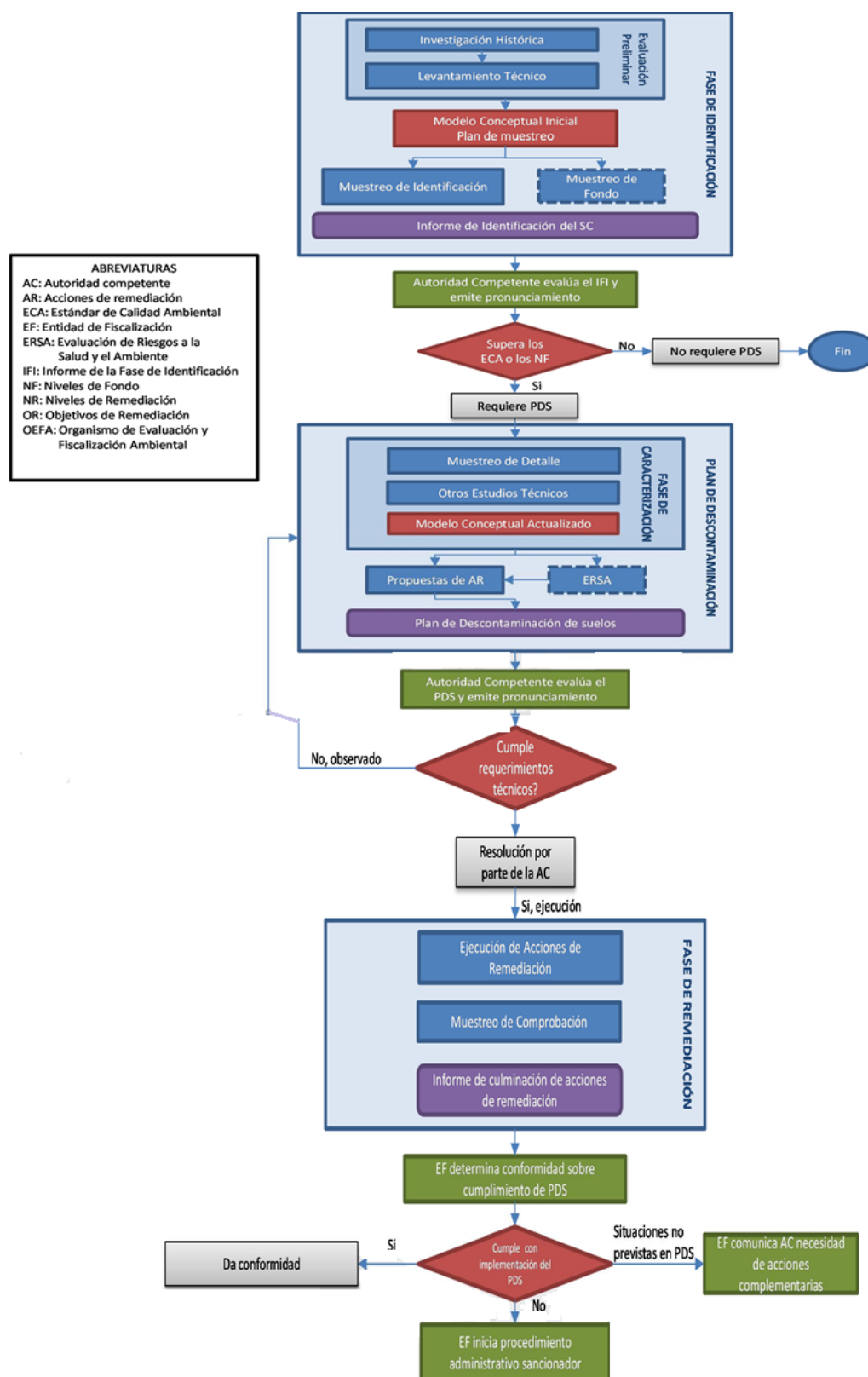
- Determinar la necesidad de ejecutar medidas de remediación.
- Establecer niveles de remediación específicos, así como otras medidas orientadas a disminuir los riesgos a niveles aceptables para la salud y el ambiente.

La elaboración del referido estudio detallado es de carácter facultativo, salvo que la autoridad competente lo solicite, en virtud de la complejidad del caso, población potencialmente afectada y magnitud de la contaminación que se presente en el sitio. Para su aprobación se requiere la opinión técnica favorable del Ministerio de Salud.

Los resultados de la fase de caracterización deben ser validados, sistematizados y analizados en el Estudio de Caracterización. La presentación del citado estudio puede realizarse por separado o como parte del plan dirigido a la remediación, para su respectiva aprobación por la autoridad competente.

En caso el Estudio de Caracterización se presente por separado, la autoridad competente determinará, en el documento que lo aprueba, si existe la necesidad de elaborar el plan dirigido a la remediación del sitio contaminado, y en caso corresponda, podrá disponer la ejecución de las medidas de acción inmediata, que resulten necesarias, frente a situaciones que implican un riesgo inminente para la salud o el ambiente, a fin de asegurar su protección.

Tabla 2. 1: Gestión de sitios contaminados en Perú



Fuente: MINAM

2.1.3 Antecedentes Internacionales

2.1.3.1 Chile: Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC)¹

La caracterización del SPPC se inicia con la recopilación de los antecedentes ya existentes, con la finalidad de minimizar los esfuerzos de terreno y orientar mejor el proceso investigativo y de remediación (en caso que se efectúe).

El desarrollo de esta etapa tiene directa relación con las actividades futuras, ya que en función de la información recopilada se inferirán las sustancias y/o elementos presentes en el sitio que serán posteriormente evaluadas y se fundamentará la hipótesis sobre la distribución de estas sustancias y/o elementos en el ambiente.

Las principales actividades y datos que se requieren en esta etapa son:

- Delimitación del área de estudio
- Inspección del sitio
- Descripción del sitio: características físicas como geología, topografía, hidrogeología y meteorología, entre otros.
- Caracterización de los receptores antrópicos.
- Desarrollo del plan de muestreo detallado.

Varias de las actividades y datos que se requieren han sido ya recabados en las fases previas de investigación, razón por la cual, la mayor parte de los esfuerzos de esta etapa están orientados a recopilar y organizar la información existente.

El desarrollo del plan de muestreo detallado es probablemente la actividad más compleja y en la que se requerirán los mayores recursos humanos y económicos, razón por la cual es presentada con mayor detalle.

2.1.3.2 México: Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de caracterización de sitios Contaminados²

La Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) define la caracterización de sitios contaminados como “la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o

¹ Chile (guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes)

² México (Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de caracterización de sitios Contaminados)
Primera edición: Septiembre 2010

residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación”.

Mediante la determinación cuantitativa de los contaminantes se obtiene la información necesaria para valorar la extensión de la contaminación, que acciones son viables de implementar y los posibles costos aunados a la remediación. Los estudios de caracterización también son utilizados para definir la responsabilidad por la reparación de daños.

Para manejar de una manera modular la información de acuerdo al tipo y causa de contaminación de un sitio, se atiende la clasificación de sitios contaminados establecida en el Reglamento de la LGPGIR en:

“Emergencia Ambiental”; sitio contaminado por un evento súbito o accidente.

“Pasivo Ambiental”; sitio contaminado que no ha sido atendido en tiempo y forma, cuya contaminación se originó en un largo periodo de tiempo por la falta de un manejo adecuado de materiales y residuos peligrosos y/o por la falta de acciones correctivas en dicho manejo.

En el Reglamento de la LGPGIR se señala el contenido de información de un Estudio de Caracterización, En muchos casos de derrames de grandes volúmenes de materiales peligrosos en específico de hidrocarburos se hace necesario el retirar el producto libre antes de iniciar cualquier trabajo de caracterización o de excavación o de remediación.

Esto lleva a que entre las actividades de atención a la emergencia (medidas de urgente aplicación) se considere la extracción o recolección del producto libre.

Como control de calidad, se tomará y analizará una muestra duplicada por cada diez muestras tomadas. En el caso en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se esté evaluando, se deben tomar muestras que sirvan para establecer niveles de fondo. Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre, debe entregarse al laboratorio junto con las muestras de suelo para calibrar el equipo de análisis.

Los criterios generales a ser considerados en la caracterización de un sitio contaminado planteados en la LGPGIR y su Reglamento son:

- la caracterización debe permitir la cuantificación de la extensión de la contaminación y volumen de suelos y materiales contaminados.

- debe permitir la determinación de la exposición, de los riesgos y de los daños ocurridos a consecuencia de la misma.

Con respecto a estos criterios existen ya indicaciones claras en las Normas Oficiales Mexicanas sobre la cantidad mínima indispensable de evidencia con respecto a la caracterización de suelos contaminados en el caso de los hidrocarburos de petróleo y metales pesados, sin embargo; no existe aún regulación alguna para la caracterización de:

- Aguas contaminadas de acuíferos someros y profundos,
- Residuos peligrosos apilados o enterrados (ya sea como material o en recipientes) en sitios contaminados o mezclados con suelos.
- Residuos de manejo especial en sitios contaminados como lo son los residuos de demolición que
- pudieran contener contaminantes potencialmente tóxicos.
- Edificaciones que se pretende demoler o reutilizar.
- Polvos y gases de suelos que contengan contaminantes potencialmente tóxicos.
- Fauna y flora tanto terrestre como acuática probablemente expuesta.
- Suelos contaminados con contaminantes orgánicos volátiles y otros contaminantes no regulados.

2.1.1.1 España: Guía para la investigación de suelos potencialmente contaminados³

Los estudios de caracterización de suelos y aguas subterráneas, ya sea en nivel 1 (exploratorio) o en nivel 3 (detallado), constituyen la parte de los estudios de calidad del suelo definidos en el art. 3 del Decreto 18/2015, encaminada a la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo los análisis de riesgos de nivel 1, 2 ó 3.

Los estudios de caracterización exploratorios proporcionan los resultados analíticos necesarios para llevar a cabo el análisis de riesgos de nivel 1 (análisis cualitativo por comparación con NGRs), y en su caso (si se superan NGRs) igualmente los de nivel 2.

Los estudios de caracterización de detalle aportan la información necesaria para afinar el análisis de riesgos hasta el nivel 3.

La secuencia completa de la caracterización conllevaría las siguientes etapas:

³ España (Guía para la investigación de suelos potencialmente contaminados) Rev.0. Enero 2017

- Investigación preliminar
- Plan de la caracterización
- Caracterización exploratoria
- Caracterización de detalle

En el análisis de hidrocarburos totales de petróleo se emplearán métodos, o combinaciones de métodos, que permitan evaluar la totalidad de hidrocarburos presentes, tanto las fracciones más ligeras o volátiles ($< C_{10}$), especialmente en presencia de gasolinas y gasóleos además del crudo de petróleo, como el resto de fracciones intermedias y pesadas (C_{10} - C_{35} o C_{10} - C_{40}) y en algunos casos más pesadas aún (C_{35} - C_{44+}), como puede ocurrir en este último caso con el crudo de petróleo, betunes, etc.

Sobre el total de muestras de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) a analizar, y si los resultados determinan o se prevé que determinen la necesidad de llevar a cabo un análisis de riesgos de acuerdo con el apartado de “Evaluación de los resultados en estudios de caracterización”, se llevará a cabo la cuantificación por escisión o diferenciación de cadenas alifáticas y aromáticas por intervalos del número de carbonos descrita en el apartado de “Ensayos a contemplar para el análisis de riesgos”.

De detalle, serán aquellos que respondan a la composición de las materias, productos y residuos que han podido afectar a la calidad de los suelos y/o las aguas subterráneas, de acuerdo con las conclusiones de la investigación preliminar.

Si el punto de muestreo se localiza en un área con riesgo de contaminación de origen conocido (depósitos) la batería analítica podrá ceñirse a la naturaleza de las sustancias concretas asociadas a esa área de contaminación.

Si la composición de las sustancias no se conoce con absoluta certeza, o pudieran estar involucradas otras sustancias contaminantes diferentes a las conocidas, se realizará, al menos en investigación exploratoria, una batería analítica más completa.

Si el punto de muestreo se localiza en un área con riesgo de contaminación de origen difuso o no conocido, la batería analítica deberá ser lo más completa posible, al menos en investigación exploratoria, de acuerdo con la naturaleza de las sustancias manejadas o producidas en la totalidad del proceso productivo.

2.1.1.2 Estados Unidos : American Society for Testing and Materials

ASTM E1903 Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process. (Guía para la evaluación ambiental de terrenos: Fase II Procesos de evaluación ambiental del sitio.

La guía E1903, destinada a aplicarse junto con la E1527 y la E1528, presenta procedimientos prácticos para evaluar aún más una propiedad comercial con condiciones ambientales reconocidas; ayuda a satisfacer el elemento de indagación apropiado de la defensa del comprador inocente según la Ley de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Medioambiental Total y a reunir información acerca de la parcela que ayudará al usuario a tomar decisiones comerciales.

ASTM E1527 - 13 Práctica estándar para evaluaciones ambientales de sitios: Fase I Proceso de evaluación ambiental de sitios

La práctica estándar define la buena práctica comercial y consuetudinaria en los Estados Unidos para realizar evaluaciones de terrenos ambientales en bienes raíces comerciales según las disposiciones de la Ley de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Medioambiental Total. Al seguir las recomendaciones en la E1527 se pretende limitar la responsabilidad del propietario inocente, del dueño de una propiedad vecina o del posible comprador con respecto a ley CERCLA ya que la norma constituye una indagación apropiada en su totalidad.

ASTM E1528 – 14 e1 Práctica estándar para la debida diligencia ambiental limitada: proceso de pantalla de transacción

La E1528 cubre la diligencia debida ambiental limitada en situaciones en las que la evaluación ambiental del sitio Fase I no se considera necesaria; su uso no alcanzará para satisfacer todas las indagaciones apropiadas referidas a la titularidad y uso previos. La norma indica un método comercialmente razonable o prudente para realizar una indagación diseñada para identificar potenciales cuestiones ambientales.

2.1.4 Petróleo crudo

El petróleo crudo se caracteriza por ser un conjunto de hidrocarburos, que se componen de átomos de carbono y de hidrógeno. Además, tiene compuestos naturales de azufre, nitrógeno y oxígeno (Kraus, 19984).

2.1.4.1 Composición

Cuando se habla de petróleo crudo estamos hablando del petróleo extraído de su reservorio a través de un pozo, producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica que junto con la alta presión y temperatura es convertido en gas natural, crudo y sus derivados. Según Rosini, 1960, citado por Arrieta, 2011⁵, el petróleo se clasifica dependiendo de la presencia de sus componentes, en las siguientes fracciones:

- Fracción Aromática: hidrocarburos mono-aromáticos, dicromáticos y aromáticos policíclicos (HAPs). Esta fracción se encuentra dividida en dos grupos principales, los hidrocarburos monocíclicos, como el benceno, tolueno y xileno (BTEX) y los hidrocarburos policíclicos (HAPs) como el naftaleno, antraceno y fenantreno. (Colwell y Walker, 1977⁶).
- Fracción Saturada: n-alcanos, alcanos, ramificados con cadenas alquílicas, las ciclo parafinas o ciclo alcanos y los hópanos (Torres y Zuluaga, 2009⁷).
- Fracción de resinas: agregados de piridinas, quinolonas, carbazoles, tiofenos, sulfóxidos y amidas (Torres y Zuluaga, 2009).
- Fracción de asfáltenos: agregados de HAP, ácidos nafténicos, sulfuros, ácidos grasos, metaloporfirinas, fenoles polihidratados, son menos abundantes y consisten en compuestos polares, pudiéndose encontrar hidrocarburos heterocíclicos, hidrocarburos oxigenados y agregados de alto peso molecular (Torres y Zuluaga, 2009).

2.1.4.2 Composición por familia de hidrocarburos

4 OIT (Organización Internacional de Trabajo, Ginebra).1998. Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo v. 3., Parte XI: Industrias basadas en Recursos Naturales, C.75: Petróleo Prospección y perforación, 4 ed, Richard S. Kraus, Madrid, España, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales p. 3056.

5 Arrieta, .O, 2011. Evaluación de la influencia del bioestimulo sobre un suelo contaminado con diesel y su integración a la gestión ambiental. Tesis. Magister. Medellín, Colombia.UNAL.

6Colwell R. R., Walker, J. D. 1977. Ecological aspects of microbial degradation of petroleum in the arine environment. Crit. Rev. Microbiol. 5: 423-445

7 Torres, K., Zuluaga, T. 2009. Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburos. tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Los hidrocarburos se componen en familias según la cantidad de carbonos que lo conforman o de la estructura que forman al agruparse, según Katherine Torres, 2009, se pueden agrupar en las siguientes familias:

- Parafinas volátiles: Es la fracción más volátil del crudo y por lo tanto la más susceptible de pérdidas abióticas por volatilización. Son n-alcanos e isoprenoides (alcanos ramificados) de un tamaño de C1 a C10.
- Parafinas no volátiles: Son n-alcanos e isoprenoides (alcanos ramificados) de un tamaño de C11 a C40, aunque se han descrito cadenas más largas. Los componentes entre C11 a C15 son de volatilidad intermedia.
- Naftenos: Los compuestos más abundantes de esta familia son los ciclo alcanos o ciclo parafinas. Esta familia engloba a los hópanos.
- Oleofinas: se encuentran en fracciones trazas, e importantes en los productos resultantes del refinado.
- Aromáticos: esta fracción la componen moléculas que contienen uno o varios anillos bencénicos en su estructura. Entre estos podemos encontrar los hidrocarburos cancerígenos formado por la familia de los BTEX (benceno, tolueno, Etilbenceno y xileno), fenantreno, antraceno, fluoreno, pireno, corroen y benzo (a) pireno.
- Resinas y asfáltenos: contienen cadenas complejas de hidrocarburos con heteroatomos de oxígeno, nitrógeno y azufre y a veces están asociadas con pequeñas concentraciones de metales como el vanadio y níquel. Se trata de agregados de piridinas, quinolinas, carbazolas, tiofenos, sulfóxidos, amidas, HAP, sulfuros, ácidos nafténicos, ácidos grasos, metaloporfirinas y fenoles polihidratados.

2.1.4.3 Clasificación del crudo según gravedad API

API es una unidad implementada por el “American Petroleum Institute” en 1921. Básicamente creada para clasificar líquidos menos densos que el agua en una escala relacionada con la gravedad específica de un fluido. Calculada de la siguiente manera:

$$API = ((141.5 / \text{gravedad Especifica del Fluido}) - 131.5)$$

Según la siguiente ecuación se puede clasificar al petróleo como liviano, mediano y

Pesado:

- Petróleo liviano: es el que tiene una gravedad API mayor que 31,1° API
- Petróleo mediano: está definido por una gravedad API entre 22,3 y 31,1 API.
- Crudos pesados: gravedad por debajo de 22,3 °API.
- Crudos extra pesados: aquellos en que la gravedad es menor a 10°API.

2.1.5 Suelos contaminados con hidrocarburos.

El suelo y subsuelo constituyen un recurso natural que desempeña funciones importantes para el desarrollo de la vida. Destaca su papel como medio filtrante durante la recarga del manto acuífero y la protección de los mismos, además, es parte del proceso donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y las redes tróficas, finalmente, es el espacio donde se realizan las actividades agrícolas, ganaderas y soporte de la vegetación⁸.

La contaminación de suelos generada por la actividad industrial se asocia principalmente a la producción de desechos; sin embargo, la libración de sustancias nocivas al ambiente producto de accidentes y otras operaciones también pueden causar una grave degradación y pérdida irreversible del suelo⁹.

Se entiende como suelo contaminado, al suelo cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de contaminantes (34). El comportamiento de los contaminantes en el suelo está determinado por las características fisicoquímicas del sustrato, propiedades de los compuestos contaminantes y factores ambientales como temperatura y precipitación. La combinación de estos puede hacer que el contaminante siga diferentes vías¹⁰.

En el caso de la industria hidrocarburífero, las principales sustancias contaminantes son los hidrocarburos, que por sus cantidades y características afectan la naturaleza del suelo¹¹.

⁸ **Saval, B.S.** *Acciones para la remediación de suelos en México*. México: Universidad Autónoma de México: Instituto de Ingeniería, 1995.

⁹ **López, Roberto.** *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Mérida : Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial, 2002.

¹⁰ **Albán, Galo.** Propuesta de intervención en derrames de hidrocarburos en base a estudios de caso del sote desde Lago Agrio a Papallacta. *Universidad Técnica del Norte Web site*. [En línea] 2009 de Setiembre de 2013. [Citado el: 30 de Marzo de 2018.] <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1205>.

¹¹ **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. *Norma Oficial Mexicana*. [En línea] 21 de Mayo de 2003. [Citado el: 25 de Marzo de 2018.] <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat138ss-05.pdf>.

La industria petrolera o hidrocarburífero usa el petróleo como materia prima convirtiéndola en una de las principales fuentes de energía para el mundo¹².

El petróleo es uno de los recursos naturales no renovables más importantes de los últimos tiempos y se encuentra distribuido en muchos lugares del planeta, de forma irregular. Se le otorga un doble carácter a este recurso, por ser considerado un recurso natural y agotable, y una de las sustancias más contaminantes del ambiente¹³.

La liberación del petróleo al suelo puede ser por algún derrame o fuga ocurrido. Una de las principales fuentes son derrames no remediados o mal remediados que se convierten en pasivos ambientales, al ser daños no reparados o que han sido intervenidos previamente pero de forma inadecuada o incompleta por lo que continúan presentes en el ambiente¹⁴.

Los pasivos ambientales también se generan por otros procesos de la industria petrolera como la inadecuada disposición de residuos, fugas de hidrocarburos por accidentes o manejo inapropiado en las actividades de refinación, petroquímica, transporte, almacenamiento y comercialización¹⁵.

2.1.6 Riesgo de contaminación en las actividades de hidrocarburos.

Las fuentes más importantes de contaminación en los sitios petroleros son en un mayor porcentaje producto de actividades pasadas teniendo en cuenta la movilidad y la afinidad de los hidrocarburos a determinadas condiciones del suelo. Los contaminantes más comunes son: los lodos de perforación (bario, sulfato); el petróleo crudo (hidrocarburos de petróleo, metales); el agua producida (sales, metales, hidrocarburos de petróleo, y materiales radioactivos); y los productos químicos utilizados en las operaciones de mantenimiento (ácido clorhídrico, biosidas). Los sitios con suelo contaminado por derrames de petróleo o agua de producción comúnmente tienen también aguas subterráneas contaminadas. Los hidrocarburos de petróleo, metales, y sales pueden estar

¹² **Contreras, Patricia.** El portal ambiental. *El portal ambiental Web site*. [En línea] 2005. <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Sueconhidindimpch.pdf>

¹³ **Bifaretti, Marcela y Sánchez, Verónica.** *Estudio del impacto de la actividad petrolera sobre el medioambiente: los pasivos ambientales*. Montevideo : Asociación de Universidades Grupo Montevideo: III Jornadas Universitarias Internacionales de Contabilidad, 2008.

¹⁴ **Tapia, Carolina.** Evaluación preliminar de los pasivos ambientales en el campo paraíso - Biguno - Huachito (PBH), ubicados en las plataformas Paraíso 2, Paraíso 3 (PSO3), Paraíso 9 (PSO9), Huachito 1 (HUA1) y Canal de Descarga de la Estación Paraíso. *Repositorio Digital Universidad Internacional SEKWeb site*. [En línea] 2010. [Citado el: 18 de Enero de 2018.] <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/172>.

¹⁵ **Madrigal, I.** *Alternativas para la rehabilitación de suelos contaminados con hidrocarburos en México*. México D. F : Universidad Autónoma de México, 1998.

adsorbidos en el suelo y también se moverán con las aguas subterráneas para ser introducidas en los acuíferos y en aguas superficiales gradiente abajo.

Los riesgos a la salud y al medio ambiente en el Perú producto de sitios contaminados del sector hidrocarburos es directamente proporcional a su ubicación y a las áreas de influencia, teniendo en cuenta los receptores ambientales y los mecanismos de transporte y acumulación en los receptores.

La fase de Caracterización contribuye de manera exponencial a un eficiente estudio de riesgo a la salud y al medio ambiente (ERSA) el cual de manera conjunta se evalúan para determinar las mejores medidas de remediación,

2.1.7 Caracterización de sitios contaminados por hidrocarburos.

La fase de caracterización se ejecuta cuando los resultados de la fase de identificación determinan la existencia de un sitio contaminado, y tiene como objetivo definir:

- a) Las fuentes y focos de contaminación.
- b) La magnitud, tipo, extensión y profundidad de la contaminación del suelo y de otros componentes ambientales afectados.
- c) Los potenciales riesgos a la salud y al ambiente, asociados a la contaminación del sitio.
- d) La necesidad de ejecutar medidas de remediación.

Esta fase comprende las siguientes etapas:

Muestreo de detalle (MD) Es aquel que permite determinar el área y volumen de suelo contaminado, la cantidad y distribución espacial de los contaminantes en el sitio, sus tasas móviles y su posible extensión hacia otros componentes ambientales. El muestreo de detalle (MD) se desarrolla en base al modelo conceptual del sitio y su alcance se determina en función a los objetivos de la caracterización del sitio.

2.1.7.1 Estructura del plan de muestreo de detalle

El plan de muestreo de suelos (potencialmente) contaminado con hidrocarburo debe tener la siguiente estructura básica:

Tabla 2. 2: Estructura de un plan de muestreo

| 1. DATOS GENERALES |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1.1 Objetivo del muestreo: Definir de manera precisa los parámetros de las MD</p> <p>1.2 Vías de acceso al sitio: Accesos geo-referenciado al sitio de interés.</p> <p>1.3 Resumen de estudios previos: Identificar información relevante de acciones previas realizadas en el sitio de estudio.</p> <p>1.4 Localización geográfica del sitio (UTM WGS 84): Para su respectivo mapeo.</p> <p>1.5 Delimitación de las áreas de interés de muestreo: En base a la información disponible sobre las actividades pasadas o los procesos en curso.</p> |
| 2. PLANEACIÓN Y PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO |
| <p>2.1 Tipo de muestreo.</p> <p>2.2 Localización, distribución y número de puntos de muestreo.</p> <p>2.3 Profundidad de muestreo.</p> <p>2.4 Tipos de muestras (muestras simples o compuestas, de profundidad o superficiales).</p> <p>2.5 Estimación del Número total de muestras.</p> <p>2.6 Parámetros de campo.</p> <p>2.7 Equipo de muestreo de suelo.</p> <p>2.8 Medidas para asegurar la calidad del muestreo.</p> <p>2.9 Preservación de las muestras.</p> <p>2.10 Tipo de recipientes y volumen de las muestras.</p> <p>2.11 Plan de salud y seguridad del operario.</p> <p>2.12 Plan de cadena de custodia.</p> |

3. ANEXOS

- 3.1 Planos de ubicación georeferenciado.
- 3.2 Plano de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio e infraestructuras.
- 3.3 Imagen satelital o aérea del sitio en alta resolución (de 15 cm a 60 cm) orto-fotos.
- 3.4 Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo geo-referenciado en coordenadas UTM.
- 3.5 Acreditación del laboratorio vigente por INACAL

Fuente: Propia de la investigadora

2.1.7.2 Muestreo de suelo en el marco de las buenas prácticas de investigación¹⁶.

A. Perforación ambiental de suelo superficial y sub-superficial Con barrilete hueco, liner y equipo "directpush" *Geoprobe*

El método de perforación aquí descrito es el estado de arte para la investigación de contaminaciones inorgánica y orgánica del (sub-) suelo. La perforación con liner (tubo interno de plástico) es una técnica internacionalmente utilizada recomendada para la investigación de contaminaciones con Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). En el caso de que se investiguen solamente contaminaciones con metales y Compuestos no Volátiles/Semi volátiles (COSV) o Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), la utilización de barrenas abiertas conforme el capítulo 2.3 de la “Guía para Muestreo de Suelos” del MINAM representa una alternativa viable. Cabe resaltar que no se pueden obtener muestras para análisis de COVs con este método de perforación sin uso de liner.

Cabe mencionar que existen otras técnicas de empuje como el hincado, técnicas rotativas (por ejemplo, hollow stem auger) y de vibración, para introducir el barrilete con el

¹⁶ Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de suelo – MINAM Septiembre 2016.

liner al subsuelo. Mayor información sobre técnicas de perforación en la zona no saturada del suelo contiene la Norma Técnica Peruana NTP 339.252 (2003)¹⁷

A 1. Preparar el barrilete (muestreador de tubo de pared delgada) e insertar el liner (tubo interno de plástico), el cual contendrá el núcleo de perforación, en un intervalo de perforación de, por ejemplo, 1,50 m. El liner tiene el largo del barrilete el cual tiene en su extremo inferior una zapata de hincado con extremo cortante.

A 2. Instalar el barrilete con el liner: en la instalación del segundo liner, es decir a partir de 1.5 m de profundidad, y en todos los tramos de perforación subsecuentes, se instalará una cerradura en la punta/broca del barrilete para evitar la entrada de material del suelo que raspa/arrastra material procedente de las paredes del pozo de perforación/agujero en el momento de bajar el barrilete y que puede causar una contaminación cruzada.

Observación: cuando se usa un barrilete abierto que generalmente no tiene cerradura, es indispensable eliminar el material arrastrado de la pared del intervalo superior. Este material se acumula en la parte superior del núcleo y generalmente es friable y fácil de distinguir del núcleo firme *in situ*.

A 3. Bajar el barrilete por presión y/o percusión y sacarlo con el equipo, en este caso equipo mecanizado *Geoprobe*.

Observación: Utilizando moto perforadoras de combustible como equipo de perforación, hay que tener cuidado por eventuales salidas accidentales de gasolina a partir del carburador. La gasolina puede entrar al agujero y/o la superficie del suelo, y de esa manera causar contaminaciones cruzadas.

A 4. Desmontar el barrilete y prepararlo para sacar el *liner*: este proceso no debe demorar ya que el *liner* está abierto en sus extremidades y eventuales COVs se pueden perder.

A 5. Retirar el *liner*, cerrarlo y lavarlo: el cierre del *liner* con las capas debe hacerse lo más rápido posible. Observación: el núcleo dentro del *liner* puede ocupar mucho menos que 100 % del largo del *liner*, dependiendo de la compactación del suelo

¹⁷ Norma Técnica Peruana NTP 339.252 (2003): Suelos: Guía estándar para muestro de suelos de la zona Vadosa (zona no saturada por encima del nivel freático), 2003-04-10.

por el sondeo de presión/percusión. En sondeo rotativo el núcleo debe ocupar toda la extensión del barrilete, no habiendo compactación vertical. El lavado del *liner* por fuera se hace con agua limpia.

Imagen 2. 4: Colocación de Lainer en el equipo de muestreo de suelo



Fuente: MINAM

Imagen 2. 5: Perforación ambiental de suelo superficial y sub-superficial con barrilete hueco, liner y equipo "directpush" Geoprobe



Fuente: MINAM

B. Preparación para la toma de muestra de los *liners*

B 1. Los liners llegan al laboratorio de campo: en el ejemplo del vídeo cada perforación recupera 6 m de núcleos (4 liners a 1,5 m de largo). Cuando no hay un laboratorio de campo, el muestreo de los liners o barriletes puede ocurrir en el piso sobre una lona de plástico o similar en local cerca de la perforación.

B 2. Se abre el liner con una lámina cortante para retirar las muestras de suelo: para esto se necesita una lámina especial. En el caso de muestreo de suelo para COVs, este procedimiento puede alternativamente seguir el procedimiento descrito en la Etapa E.

B 3. A continuación se realiza la documentación fotográfica y la descripción geológica del perfil de suelo. Para esto se necesita un técnico capacitado, de preferencia un geólogo y una hoja de descripción estandarizada, como la Ficha de Muestreo de Suelo según Anexo N°3 de la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM. La descripción de los suelos debe realizarse en base de normas técnicas existentes, como la NTP 339.150 (2001)¹⁸ o la Norma ASTM D2488-93, considerando adicionalmente aspectos ambientales, como la presencia de componentes antropogénicos, olores y otras características organolépticas que pueden indicar la presencia de contaminantes en el suelo.

¹⁸ Norma Técnica Peruana NTP 339.150 (2001): Suelos. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual-manual.

Imagen 2. 6 Preparación para la toma de muestra de los liners



Fuente: MINAM

C. Toma de muestras Dependiendo del objetivo de la investigación y del modelo conceptual, las profundidades y conceptos de toma de muestras pueden variar.

En nuestro ejemplo se decidió por una estrategia de muestreo enfocada en la determinación de la contaminación del suelo superficial 0 – 30 cm y del suelo sub superficial a 1 m de profundidad.

También se han seleccionado los parámetros (substancias de interés) en función del objetivo de la investigación y del histórico de la contaminación (ver capítulo 1.1: Evaluación Preliminar de la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos - MINAM 2014).

En nuestro ejemplo se toman 3 muestras en cada profundidad:

- 1 para análisis de metales y COSV,
- 1 para análisis de COVs (muestra laboratorio), y
- 1 para medición en campo de COVs por PID (“muestra PID”, que se desechará).

C 1. Muestreo del suelo superficial: se toman 3 muestras en secuencia, cada una representando un intervalo del núcleo de unos 5 cm y pesando alrededor de 100 gramos, siendo así representativas para el suelo cerca de la superficie. La muestra para metales debe ser colectada del intervalo superficial, es decir de la capa de suelo que tiene contacto con la superficie.

A continuación, las muestras se almacenan en sacos plásticos debidamente rotulados

(Para medición de COVs - ver -* etapa E2 ALTERNATIVO, para la composición de muestra compuesta - ver -* etapa D1).

En el caso de la toma de muestras individuales, las muestras son almacenadas en recipientes especiales que se transportarán directamente al laboratorio (recipiente de Plástico: muestras de análisis de metales, recipientes de vidrio: muestras de análisis de COSV).

C 2. Muestreo de suelo en la profundidad de 1 m (suelo subsuperficial): se toman las muestras en secuencia, cada una representando un intervalo del núcleo de unos 5 cm y pesando alrededor de 100 gramos. De esta manera, constituye una muestra

representativa para el suelo en un punto ubicado a aproximadamente 1 m de profundidad.

A continuación, las muestras son almacenadas en sacos plásticos debidamente rotulados (para medición de COVs - ver -* etapa E2 ALTERNATIVO, para la composición de muestra compuesta – ver -* etapa D1).

En el caso de muestreo individual las muestras son almacenadas en recipientes especiales directamente para su transporte (recipiente de plástico: muestras para análisis de metales, recipientes de vidrio: muestras para análisis de COSV).

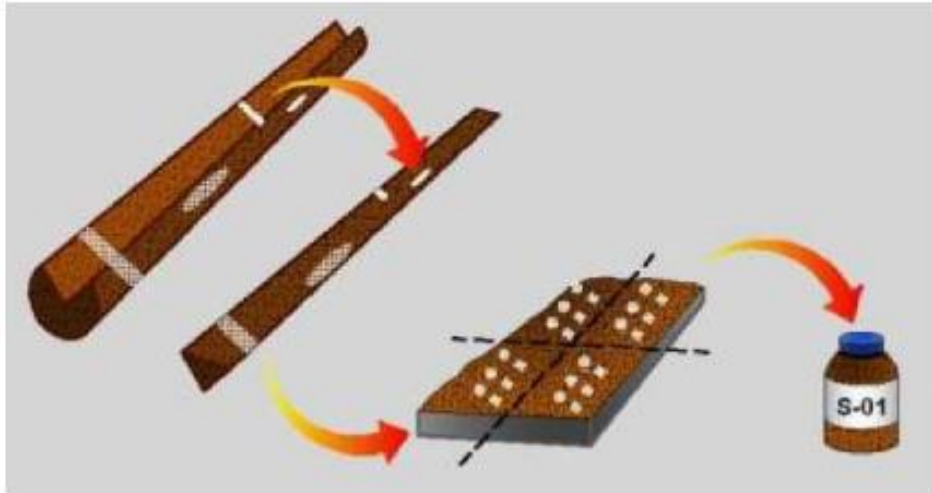
En el caso de muestras individuales de suelo para análisis de metales y COSVs, estas siguen directamente para el laboratorio.

La obtención de muestras para análisis de COVs sigue el procedimiento específico descrito en la Etapa E.

La obtención de muestras compuestas para análisis de metales y COSVs sigue la metodología descrita en seguida →Etapa D.

Observación: dependiendo del objetivo del muestreo, se pueden sacar muestras de intervalos (Imagen N° 1). El muestreo de intervalos proporciona el análisis de una concentración media de un intervalo de profundidad o de un horizonte geológico y puede ser indicativo para estimar el volumen total de contaminantes en un determinado volumen de suelo. También puede ser indicativo para el riesgo potencial que una contaminación del subsuelo puede afectar negativamente a las aguas subterráneas, determinando la tasa de contaminantes posiblemente disponibles para lixiviación (Vea capítulo 2.3, Guía para el Muestreo de Suelos MINAM 2014).

Imagen 2. 7 Muestreo de núcleo por intervalo, cuarteamiento y obtención de muestra



Fuente: MINAM

Imagen 2. 8: Toma de muestras Dependiendo del objetivo de la investigación y del modelo conceptual, las profundidades y conceptos de toma: de muestras pueden variar.



Fuente : MINAM

D. Preparación de una muestra compuesta para análisis de metales y COSVs

La preparación de muestras compuestas es muy útil para determinar la contaminación promedia sobre todo del suelo superficial e identificar áreas con focos de contaminación o “focos calientes” (*hot spots*). El muestreo compuesto puede ser el primer paso para aproximarse a una contaminación puntual o para determinar el riesgo de contaminaciones difusas superficiales. A continuación se explican las buenas prácticas de obtención de una muestra compuesta, más no las estrategias del muestreo, alcances ni limitaciones del muestreo compuesto o multi incremento. Para esto vea el ITRC Incremental Sampling Methodology (ISM) del Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC)¹⁹

D1. Como primer paso, se mezclan todas las sub-muestras que deben formar parte la muestra compuesta. En el ejemplo, se trata de 20 sub-muestras equitativas (= alícuotas), es decir, las sub-muestras tienen aproximadamente el mismo volumen e representan horizontes del suelo similares. En el presente caso, se obtenían las alícuotas de 20 diferentes perforaciones de una profundidad de 0 a 30 cm.

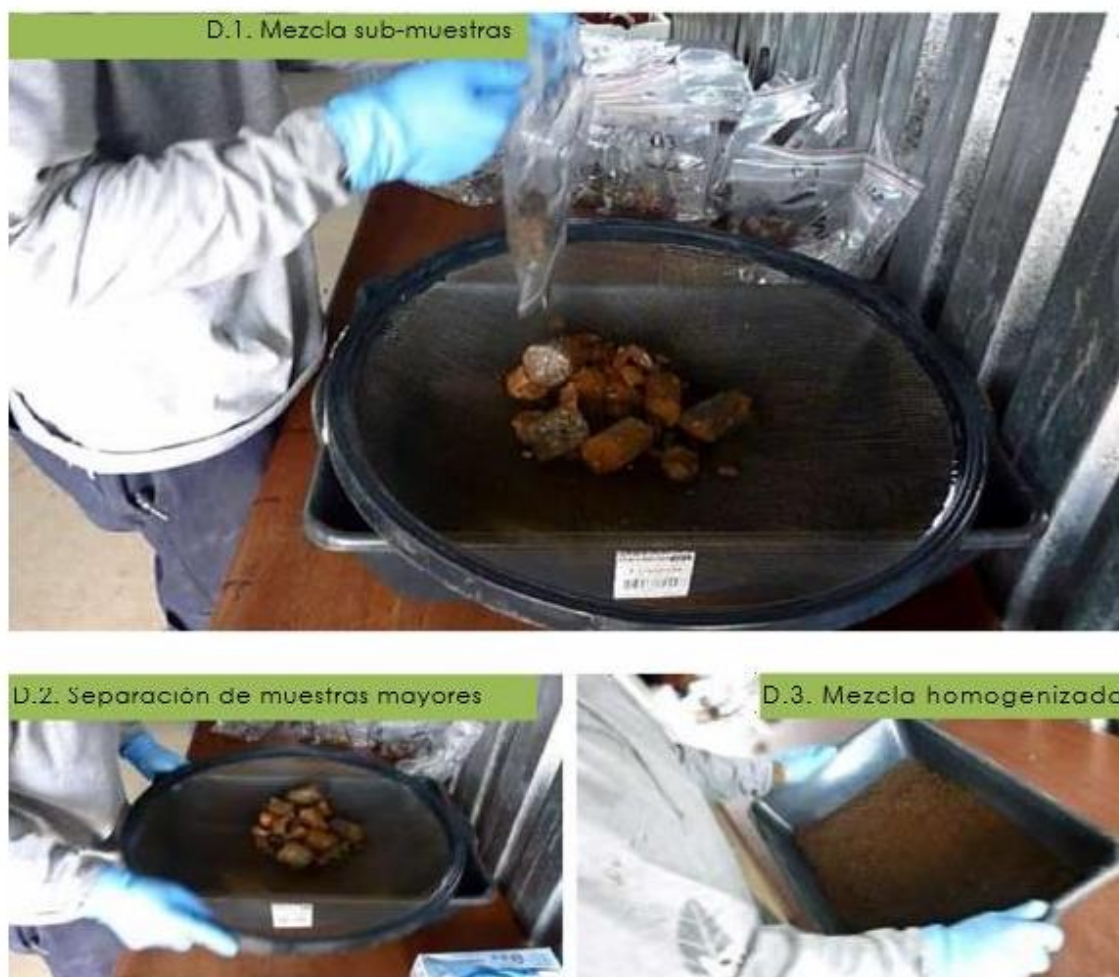
A continuación se pasan las sub-muestras por una criba de acero inoxidable de 2 mm y se separan las piezas/piedras mayores los cuales son descartados después del análisis visual. Es importante tener en cuenta que los ECA para Suelos del Perú son aplicables para la fracción = 2 mm del suelo, y por lo tanto es ésta fracción que es de interés para la muestra compuesta.

Se homogeniza la muestra resultante para obtener una muestra representativa y se cuartea la muestra y toma sub-muestras de forma diagonal.

Se recolecta una muestra compuesta: una parte de unos 100 gr para el análisis de metales (frasco de plástico) y una de mismo peso para COSVs y plaguicidas (frasco de vidrio).

¹⁹ <http://www.itrcweb.org/Team/Public?teamID=11>.

Imagen 2. 9: Muestra compuesta para análisis de metal es y COSVs



Fuente: MINAM

Imagen 2. 10. Muestra compuesta



Fuente: MINAM

E. Toma de muestra de suelo o para determinación de COVs A continuación se presentan prácticas de muestreo para la determinación de COVs, las cuales difieren entre sí debido a la manera de determinación los puntos de muestreo en el liner utilizando lectura con PID, y la toma de muestras para análisis químico en un laboratorio, tal y como se señala a continuación:

- **Buena Práctica E.1. y E.2:** corresponde a la norma técnica brasileña ABNT NBR 16434/2015: Muestreo de residuos sólidos, suelos y sedimentos – compuestos orgánicos volátiles, basada en la norma ASTM D 4547-09 *Sampling Waste and Soils for Volatile Organic Compounds* de 2009.
- **Buena Práctica E.1. ALTERNATIVO y E.2 ALTERNATIVO:** modificación de la norma utilizada en E.1. y E.2.

E 1. Determinación del intervalo con más alta concentración de COVs y muestreo conforme norma técnica brasileña ABNT NBR 16434: Muestreo de residuos sólidos, suelos y sedimentos - compuestos orgánicos volátiles.

Para la realización del método se deben de seguir los siguientes pasos:

Abrir el liner en varios puntos con un taladro o perforador de mano. La distancia entre los puntos puede variar conforme el perfil geológico, visual o necesidad. Según la norma debe ser unos 4 cm.

Inmediatamente después de haber perforado el liner, se debe proceder a la medición con el PID en los huecos, cerrando a continuación los huecos con cinta adhesiva. De esta manera se determina el punto o intervalo con más alta concentración de COVs y se preserva los COVs después de la medición.

E 2. Toma de una muestra individual del núcleo de perforación (*liner*)

Se realiza el muestreo en los puntos (intervalo del núcleo) considerados de más alta concentración de COVs con un dispositivo especial o con jeringuillas de plástico cortadas, inmediatamente después de la medición con PID para evitar pérdidas de volátiles durante la exposición.

Se pasa la muestra para un frasco de vidrio con sello hermético apropiado para transporte. El frasco puede contener también un solvente (por ej. metanol) o agua libre de COVs. Para detalles de preservación, transporte y extracción en campo ver las Normas arriba citadas.

E.1 ALTERNATIVO. Este método se puede utilizar sobre todo en la fase de muestreo exploratorio. En vez de medición de los volátiles con PID a través de huecos en el liner, se trabaja con una muestra recuperada del núcleo de perforación y envasado en una bolsa de plástico (ver etapa C: “Toma de muestra”, donde se tomó 3 muestras para cada profundidad. Una de las muestras se tomó solo para la lectura con PID).

En suelos de granulometría gruesa y media (suelos arenosos, con grava, etc.) existe el riesgo que al momento de extraer la muestra del núcleo de perforación, ocurra una pérdida de COVs, y por lo tanto se recomienda hacer el manipuleo de la muestra lo más rápido posible. En suelos arcillosos este riesgo no es tan grande (vea capítulo A 3.3 de la Norma ABNT NBR 16434 y capítulo X3.3.1 de la Norma ASTM D 4547-09).

Para la realización del método se deben de seguir los siguientes pasos:

- Se desintegran los terrones en el saco cerrado en la muestra previamente recolectada especialmente para esta finalidad, nombrado de "muestra PID" con sello totalmente cerrado.
- Se desagrega el suelo de forma manual (sin necesidad de abrir el saco), agitar la muestra vigorosamente durante 15 segundos y mantenerla en reposo durante unos 10 minutos hasta la medición.
- En el momento de la medición registre la temperatura, agite la muestra de nuevo durante 15 segundos e inmediatamente realice la medición de los gases presentes en el saco, insertando el tubo del equipo de medición (sonda PID) a través de un pequeño hueco, evitando tocar al suelo o las paredes del recipiente.
- Se registra el mayor valor observado durante la medición (30 segundos). Observación: Mediciones irregulares pueden ocurrir debido a las altas concentraciones de vapores orgánicos o alta humedad.
- Se prosigue con la medición con PID (detector de foto ionización) hasta que todo el aire salga del saco, se anotan los resultados.
- Después de la medición se anota el número de la muestra y la concentración de COVs (lectura PID) y descarta esta muestra PID.

Equipo: Utilice el equipo con el detector de fotoionización (PID) con una lámpara de 10,2 eV, o mayor, la oxidación catalítica o de ionización de llama (FID).

E.2. ALTERNATIVO: Obtener muestras para análisis químico de COVs, a continuación de la Buena Práctica E.1 .1. ALTERNATIVO.

Con el método E.1.1. ALTERNATIVO se obtienen muestras de suelo en sacos de plástico. Estas muestras no son aptas para el envío a un laboratorio para el análisis químico de COVs. A continuación se describe un método para la preparación de las muestras antes del transporte de las mismas al laboratorio:

Se recoge la muestra para el análisis de COVs directamente del liner. Se pasa la muestra para un frasco de vidrio con sello hermético apropiado para transporte. Este frasco contiene 2 gramos de suelo en el que se adiciona 10 ml de solución acondicionadora dada.

Debe ser insertada compactada en el frasco de vidrio de manera que elimine eventuales volúmenes de aire.

El frasco puede contener también un solvente (por ejemplo, metanol) o agua libre de COVs. Para detalles de preservación, transporte y extracción en campo ver las normas arriba citadas²⁰

.

Observación: se seleccionan para análisis de laboratorio aquellas muestras que en base de la lectura anterior de PID en saco plástico (vea E1 ALTERNATIVO) corresponden a las de la más alta lectura de PID.

Cabe resaltar que por la manipulación de la muestra (extracción del núcleo de perforación, conservación de la muestra en el saco, etc.) existe el riesgo que ocurran pérdidas de contaminantes volátiles, sobre todo en suelos de granulometría gruesa y media (suelos arenosos, con grava, etc.). En suelos con matrices finas (suelos arcillosos, etc.), este efecto es de menor relevancia.

Estos efectos deben considerarse en la interpretación de los resultados de los análisis químicos obtenidos mediante este método.

²⁰ Norma ABNT NBR 16434 y Norma ASTM D 4547-09, EPA 51

Imagen 2. 11 Determinacion de COVs con PID



Fuente: MINAM

Imagen 2. 12 Toma de muestras individuales con el PID



Fuente: MINAM

F. Descarte de muestras no utilizadas y del corte de perforación

Las muestras no utilizadas y el corte de perforación se destinan como residuos especiales después de su clasificación conforme las normas vigentes de clasificación de residuos sólidos.

Imagen 2. 13: Disposición temporal de residuos



Fuente MINAM

2.1.7.3 Muestreo de agua para la caracterización de Sitios Contaminados.

El agua subterránea se percibe principalmente como una vía de transporte de contaminantes, no como un medio de preocupación directo. No hay pautas detalladas para caracterizar el agua subterránea contaminada por petróleo o para remediar el agua subterránea.

La instalación de pozos de monitoreo está estandarizado por normas técnicas en varios países²¹

Los procedimientos de instalación y desarrollo de pozos mostrados en el presente manual, se orientan básicamente a las normas brasileñas y americanas para pozos en acuíferos granulares/sedimentares.

Observación: El procedimiento se debe complementar con la recolección de una muestra de suelo para cada uno de los intervalos de profundidad predefinidos (a criterio del técnico) durante la ejecución de las perforaciones. Todas las muestras serán tomadas en toda la zona no saturada del terreno y no se deben tomar en la zona vadosa o de

²¹ Brasil: NBR Brasil 15495-1 de 2008: Pozos de monitoreo de agua subterránea en acuíferos granulares - Parte 1 Proyecto de construcción y parte 2 Desarrollo; ASTM 5092-90 de 2004.

aireación (zona no saturada por encima del nivel freático). Este muestreo sigue las Buenas Prácticas de muestreo de suelo (vea Buenas Prácticas 2.3.1).

A. Perforación con *hollow stem auger drill* / barrilete helicoidal hueco.

Para la realización del método se deben seguir los siguientes pasos:

- Se retira el material de perforación y en caso de estar contaminado se destina a eliminación conforme las normas vigentes.
- El diámetro de la perforación debe ser establecido en función del diámetro de tubo del pozo. Se establece un diámetro mínimo de 50 mm o 2 pulgadas interno para el tubo.
- Pozo/tubo filtro (igual como usado en el video). Para este diámetro la perforación debe tener un diámetro de mínimo 6 pulgadas para proporcionar un espacio anular de 2 pulgadas suficiente para el pre filtro. (En el video se usa un diámetro de perforación de 7,5 pulgadas).

Equipo: Geoprobe con barrena hueca helicoidal; otros equipos de perforación de percusión (martillo motorizado) o rotativa también son adecuados cuando generan un agujero suficientemente ancho recto. No se deben utilizar fluidos de perforación.

B. Medición de la profundidad para definir la longitud del tubo/ pozo y la Posición del filtro.

Se deben medir la profundidad del agujero de perforación y de la napa freático para determinar la/las profundidad(es) del filtro y de los tubos ciegos.

La posición de los tubos/filtros dependerá además de los objetivos de la investigación y del perfil hidrogeológico del subsuelo. En el caso de la presencia de más de un acuífero, se debe evitar que el pozo genere cortes hidráulicos entre los acuíferos. Estos cortes pueden permitir la migración de contaminantes entre diferentes niveles de las aguas subterráneas y son por eso altamente indeseables.

En estos casos, se deben instalar pozos de multinivel o considerar en la construcción del pozo tubos ciegos y una barrera de arcilla/bentonita en el agujero de perforación en las profundidades donde se ubican los estratos impermeables (acuitardos/acuífugos) que separan los acuíferos.

De todas maneras, se requiere de un especialista en campo para determinar el vestimento del pozo en base de los hallazgos obtenidos durante la perforación. Equipos: Freatímetro (medidor del nivel freático), cuerda plomada (para medir profundidad de la perforación).

Imagen 2. 14. Perforación con hollow stem auger drill / barrilete helicoidal hueco



Fuente : MINAM

C. Instalación de pozo de monitoreo con tubo de PVC geo mecánico y filtro ranurado.

- El tubo y filtro (cada elemento del tubo que tiene longitud de 1,50) m se inserta dentro de la barrena hueca. En el caso de perforaciones manuales se debe insertar el tubo filtro directamente en el agujero.

- La punta del filtro ranurado debe tener un espacio aproximado de 30 cm de tubo ciego en su parte inferior para acomodar sedimento y evitar la obturación del filtro.
- Al final se deben cortar las puntas superiores de los tubos e inmediatamente cerrarlos con tapa.

Equipos/materiales: Tubería de polivinilo (PVC)²² de diámetro interior de 2.0 pulgadas con ranuras de 0.025 cm²³.

Imágen 2. 15. Instalación de pozo de monitoreo con tubo de PVC geo mecánico y filtro ranurado



Fuente. MINAM

D. Inyección de la grava/arena del pre-filtro

Los filtros deben instalarse de tal manera que estén enfrentados a los acuíferos y se encuentren a lo largo de toda la zona vadosa y se deben considerar las fluctuaciones estacionales del nivel freático de manera tal que se facilite la identificación de los líquidos ligeros en fase no acuosa (LNAPL). La posición del filtro debe cubrir la oscilación del nivel **freático, con** una longitud de 2-3 metros.

²² Alternativa: tubos de polietileno de alta densidad (HDPE - High Density Polyethylene). Para aplicaciones en acuíferos altamente contaminados por solventes aromáticos o halogenados, se deben usar tubos de PTFE (Teflon) o de acero inoxidable, con tal de que no se trate de aguas corrosivas.

²³ La abertura de la ranura está en función de la granulometría del acuífera (vea Tabla N°2).

- El pre-filtro se inyecta en el espacio anular de abajo hacia arriba por gravedad. La arena del prefiltro se vierte en el espacio anular entre la barrena hueca y el tubo del pozo. Para esto y para garantizar que la arena alcance profundidades mayores (importante cuando no hay una barrena hueca) se puede usar un tubo con diámetro menor como guía.
- Enseguida se mide el nivel freático en el pozo con una freatímetro.
- Después de instalar el pozo, se debe sacar la barrena hueca adicionando arena pre-filtro hasta un intervalo de 60 -75 cm por encima del filtro ranurado que se encuentra en la parte inferior del pozo → Imagen N° 2.

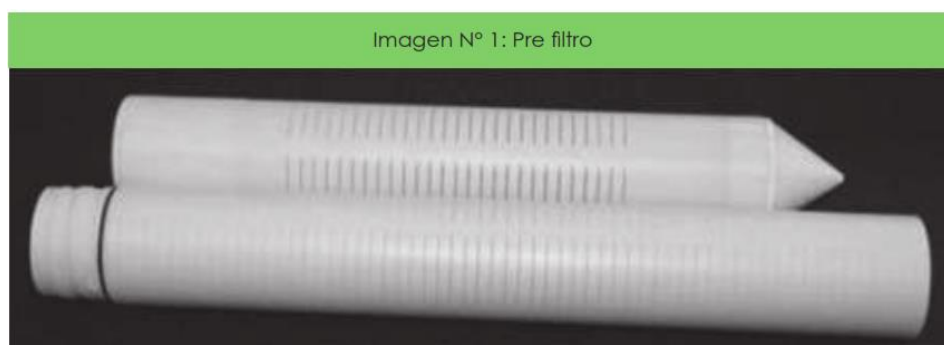
Equipo/materiales: Se deberán instalar filtros de grava de cuarzo redondeada de tamaño apropiado adyacente al revestimiento perforado en el espacio. La definición de la granulometría del pre-filtro y de la apertura de las ranuras siguen un cálculo en función de la granulometría del medio acuífero como sigue en la Imagen N° 1 y en la Tabla N° 2.

Imagen 2. 16 Inyección de la grava/arena del pre-filtro



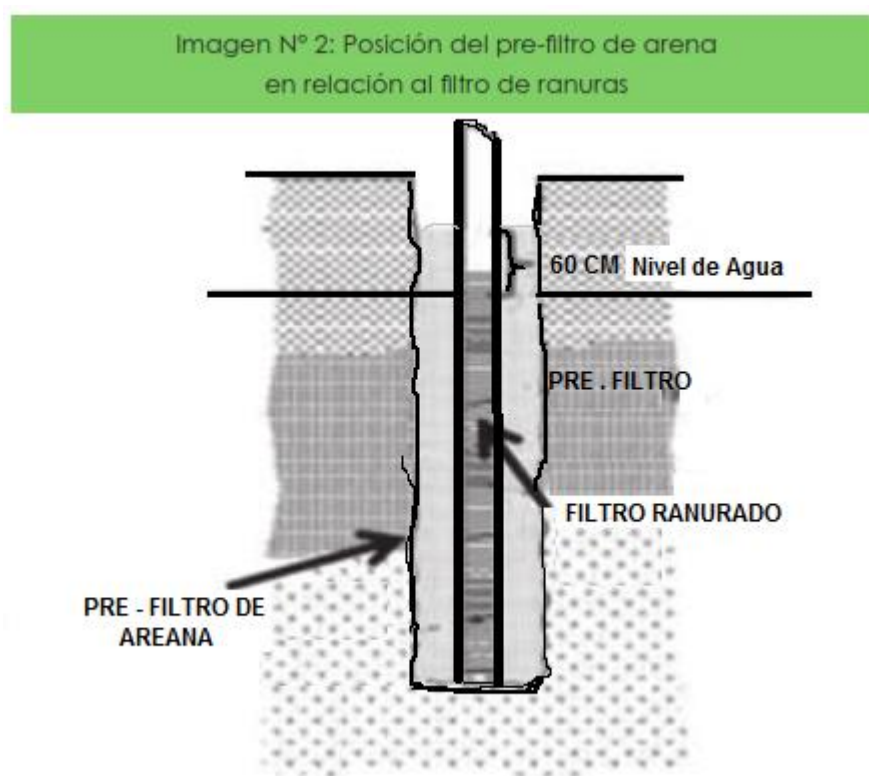
Fuente: MINAM

Imagen 2. 17: pre-filtro



Fuente : MINAM

Imagen 2. 18: Posición del pre-filtro de arena



Fuente: MINAM

Tabla 2. 3.: Relación entre abertura de ranuras y granulometría del pre filtro (los valores sombreados son los más usados)

| Abertura de ranura (mm) | Granulometría de pre filtro (mm) | Tamiz de la malla | Tamaño en que 1% de los granos pasan (d-1) mm | Tamaño efectivo (d-10) mm | Tamaño en que 30% de los granos pasan (d-30) mm | Variación del coeficiente de uniformidad | Grado de redondez |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------|
| 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |

Fuente : Propia de la investigadora

E. Purgar y limpiar el pozo

12 horas después de la instalación, los pozos de monitoreo deben ser purgados con el fin de remover sedimentos del pozo, y para mejorar la comunicación hidráulica entre el pozo de monitoreo y el acuífero.

Se debe utilizar una combinación de técnicas de achicado y agitación (pistón) o con una bomba de succión (de acuerdo a las condiciones encontradas en terreno) para el desarrollo del pozo.

“Pistoneamiento”: forma parte de la etapa preliminar de desarrollo, este procedimiento se lleva a cabo después de la instalación de pre-filtro, el filtro del tubo y el tubo de revestimiento, y antes de la instalación de pre-filtro secundario.

Se utiliza un pistón conectado en el extremo de una varilla, que opera como un émbolo en el pozo, moviéndola hacia arriba y hacia abajo alternadamente, forzando el

flujo de agua subterránea en el pozo hacia arriba y abajo, haciendo que el lavado a contracorriente (retralavado) deshaga los puentes existentes en la formación o en el pre-filtro y tirar los granos finos sueltos para dentro del pozo.

Observación: en sitios contaminados con alta probabilidad de contaminación en agua subterránea se debe verter el agua en recipientes especiales para su tratamiento y eliminación adecuada.

Imagen 2. 19: Purga y limpieza del pozo



Fuente: MINAM

F. Impermeabilización superior con bentonita y finalización con tapas plásticas

- Enseguida se vierte bentonita en pellets (Compactolit) para que se forme una camada impermeable por encima del pre-filtro.
- La bomba sigue funcionando y el movimiento circular de la tubería ayuda a purgar y asentar el pre-filtro.
- Una suspensión/lechada de agua con bentonita y cemento se vierte por encima de los pellets de bentonita.
- El acabado superficial se hace con base de cemento y tapas plásticas protectora.

Material: lechada de mezcla de bentonita que se prepara en campo, y cemento y pellets de arcilla.

Imagen 2. 20: Impermeabilización con bentonita



Fuente: MINAM

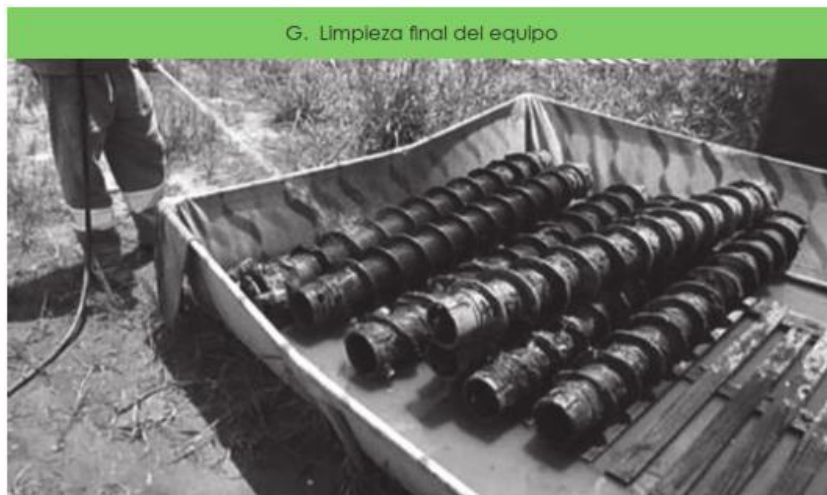
G. Limpieza final del equipo

Todo equipo (si no es exclusivo) deberá limpiarse antes de retirarse del sitio. El equipo de perforación y muestreo deberá limpiarse en un área impermeable adecuada del sitio.

Al final, y para garantizar la descontaminación del equipo de campo, se lavan las barrenas helicoidales y se capta el agua para su eliminación y destinación adecuada, usando una piscina improvisada.

Observación: sobre el Manejo y disposición de residuos: los excesos de suelos generados durante la perforación, el agua de la instalación, el agua purgada, y los fluidos de limpieza serán almacenados en tambores de acero de 55 galones, los cuales deberán ser adecuadamente etiquetados, organizados en el sitio, para una posterior caracterización y definición de disposición adecuada de acuerdo con lo establecido por la normativa ambiental vigente aplicable al tema y mediante gestores debidamente acreditados por la autoridad competente.

Imagen 2. 21: Limpieza de equipo



Fuente: MINAM

3.4.1.1 Muestreo de agua subterránea²⁴

Los procedimientos de las Buenas Prácticas se basan en la norma *ABNT 15.847* de 2010 y son adaptados de las normas *ASTM D 6452:1999* y *ASTM D 4448:2001*. Estas normas ofrecen información a mayor detalle y pueden ser consultadas para complementar las Buenas Prácticas aquí presentadas.

En el presente manual solamente se abarca la purga de flujo bajo, seguido de toma de muestra, muy usado el muestro de agua subterránea en acuíferos arenosos arcillosos de capacidad normal. Existen otros métodos de purga y muestreo como la purga de volumen determinado (con remoción de 3 – 5 veces el volumen de agua contenido en el pozo antes del muestreo) y purga con obturadores (Packer; para muestreo puntual de una sección aislada con ayuda del obturador).

Observación: se debe iniciar el muestreo 7 - 10 días después de la instalación y purga/limpieza del pozo

²⁴ Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas Versión Septiembre 2016

A. Purga del pozo - Rebajamiento del nivel de agua por bomba de flujo bajo (low flow) de purga.

La purga del pozo tiene como objetivo equilibrar las condiciones físico químicas entre pozo, pre filtro y acuífero con la finalidad de proporcionar la toma de una muestra representativa para el estado actual del agua subterránea. Para esto se bombean pequeños volúmenes de agua del pozo de tal manera que el volumen de agua bombeada se reestablezca en el pozo en poco tiempo. Este proceso se monitorea a través de rebajamiento del nivel de agua en el pozo, que debe ser mínimo para evitar la alteración del flujo natural y eventualmente de la pluma de contaminantes y el aumento de la turbiedad.

De esta manera, el rebajamiento debe ser lo mínimo posible. Para pozos con sección filtrante plena (el nivel estático está en contacto con la sección filtrante), la estabilización del rebajamiento debe ocurrir máximo a 25 cm debajo del nivel estático inicial. Cuando el filtro está ahogado (el nivel estático está arriba de la sección filtrante a la altura del tubo ciego), la estabilización del rebajamiento debe ocurrir en la zona ciega en cima del filtro, o hasta 25 cm debajo de la parte superior del filtro.

Observación: En el caso de que el nivel no se recupere se deben utilizar menores volúmenes de bombeo.

Se monitorea el rebajamiento con la freatímetro, subiendo y bajando para detectar el nivel freático así garantizando que el pozo no se seque o se genere turbidez

.

Equipo: bombas; baldes; freatímetro

B. Purga del pozo - Medición de los parámetros que indican estabilidad para iniciar el muestreo durante la purga.

A lo largo de 3-5 mediciones los resultados deben equilibrarse conforme Tabla N° 3

- En el balde se puede observar el volumen reducido de agua de purga, alrededor de 70 ml/min, no puede superar 1000 ml/minuto.

- Los parámetros se miden con un equipo de campo dentro de un balde – el medidor está conectado a un conjunto de sondas o detectores en contacto con el agua del balde.

Tabla 2. 4: Rangos de variación para la estabilidad durante la purga

| Parámetro | Parámetro | Parámetro |
|--------------------------------|-------------------|-----------|
| pH | Unidad | +/- 0,2 |
| Conductividad específica | % de las lecturas | +/- 0,5% |
| Temperatura | °C | +/- 0.5 |
| Oxígeno Disuelto (OD) | mg/L ó 10% | +/- 0.2 |
| Potencial de óxido – reducción | mV | +/- 20 |

FUENTE: ABNT 15.847/2010

Ejemplo: En cuatro mediciones los parámetros quedan dentro del rango de variedad aceptable para la estabilización.

Equipos: La bomba peristáltica sirve para profundidades de hasta 9 m. Para pozos más profundos se usan bombas sumergibles neumáticas (bladder pumps); el equipo sonda multi-parámetro y sensores necesita calibraciones diarias en el campo.

C. Toma de muestras

Se toma la muestra de agua en el flujo de la purga desviando la manguera para el frasco de vidrio.

- Con los parámetros estables se puede revertir la manguera para la toma de muestras.
- El flujo de la bomba no debe superar 250 ml/min para sustancias orgánicas y 500 ml/min para sustancias inorgánicas.
- Para tomar la muestra filtrada para análisis de metales disueltos se pasa el flujo de agua por un filtro MILIPORE de 0.45 μ m.

- Para análisis de Cromo hexavalente la muestra necesita llegar al laboratorio el mismo día.
- Las muestras de volátiles no se filtran.

Imagen 2. 22: Purga del pozo



Fuente: MINAM

D. Acreditación y calibración

En muchos países tales como Brasil, EEUU, etc., la toma de muestras de agua subterránea es una tarea sometida a la acreditación. En general los laboratorios y

algunas empresas de consultoría buscan la acreditación para poder garantizar la calidad del servicio y resultado. El proceso pasa por un sistema de auditoría complejo que abarca procedimientos, equipos e instrumentos y técnicos y su capacitación. Por lo menos los laboratorios acreditados deben presentar una acreditación para la toma de muestras en pozos de monitoreo de aguas subterráneas.

2.1.7.4 Análisis de Información y Desarrollo del Modelo conceptual

Con toda la información obtenida, se elaborará una primera hipótesis de trabajo que intente explicar el estado del sistema ambiental afectado. Para ello se elaborará un modelo conceptual del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes.

El modelo conceptual permite visualizar de forma general y resumida las condiciones del emplazamiento, ilustrando la distribución de las potenciales fuentes contaminantes, mecanismos de vertido, vías de exposición y mecanismos de migración, así como los receptores potenciales existentes.

Se apoya en mapas, esquemas, cortes litológicos, hidrogeológicos, distribución de puntos con potencial contaminación, que ilustran tanto las posibles fuentes de contaminación como las vías de movilización y receptores potencialmente existentes.

Corresponde a un esquema descriptivo que permite identificar las rutas de exposición, desde la emisión de los contaminantes hasta el lugar en que se contactan con los receptores.

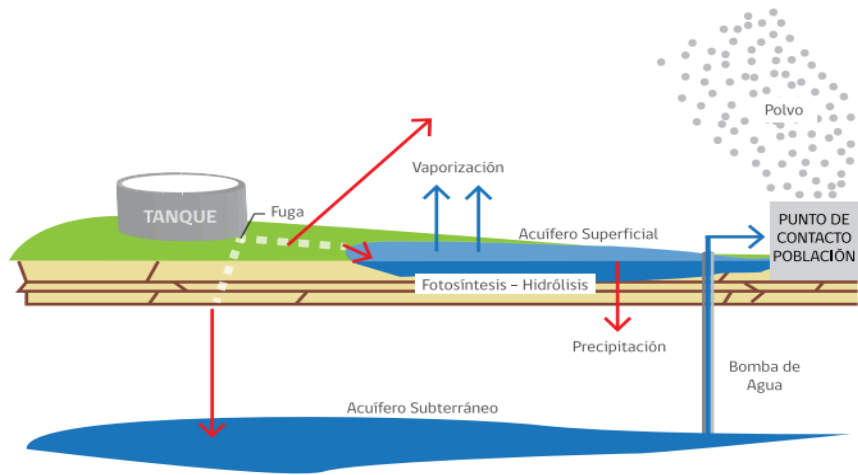
En la elaboración del referido modelo se deberán considerar los desplazamientos de contaminantes que pueden dar lugar a exposiciones efectivas.

Para que una ruta de exposición se considere completa deben existir dos condiciones:

- (i) Un mecanismo de transporte conocido, o probable, a través del cual el contaminante desplace hasta una ubicación (o medio) donde un receptor pueda estar expuesto.
- (ii) Una vía de exposición mediante la cual el contaminante pueda entrar en contacto con el receptor.

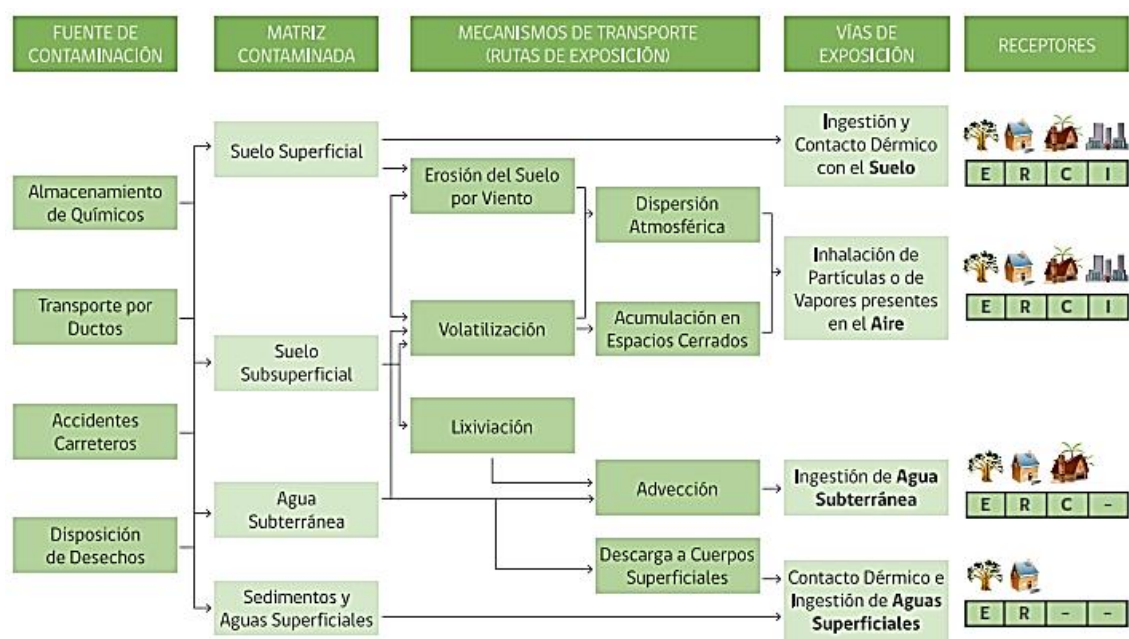
En la Figura 6 se presenta un esquema simplificado de la migración de los contaminantes desde una fuente y los mecanismos de liberación y de transporte que pueden experimentar. A partir de este esquema es posible inferir las posibles rutas y vías de exposición del sitio.

Imagen 2. 23: Esquema con Desplazamiento de Contaminantes desde una Fuente de Contaminación



FUENTE: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Universidad de Arizona, Grant P42 ESO 4940.

Tabla 2. 5: El Modelo Conceptual puede ser representado mediante un diagrama



FUENTE: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE CHILE²⁵

Nota: Los receptores de izquierda a derecha corresponden a Ecológico (E), Residencial (R), Comercial (C), Industrial (I)

²⁵ Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes

2.1.7.5 Caracterización de alta resolución (HRSC)²⁶

Caracterización de Sitios de Alta Resolución (HRSC) las herramientas de "Alta Resolución" han pasado de ser una idea experimental a una parte integral de la comprensión y reparación de sitios. A continuación se presenta los resultados de un sitio de trabajo reciente donde se utilizó High Res para ayudar en el desarrollo del Modelo Conceptual del Sitio (CSM) y el diseño de remediación.

Imagen 2. 24: Cacterización de alta resolución



Fuente: Vertex Environmental Inc.

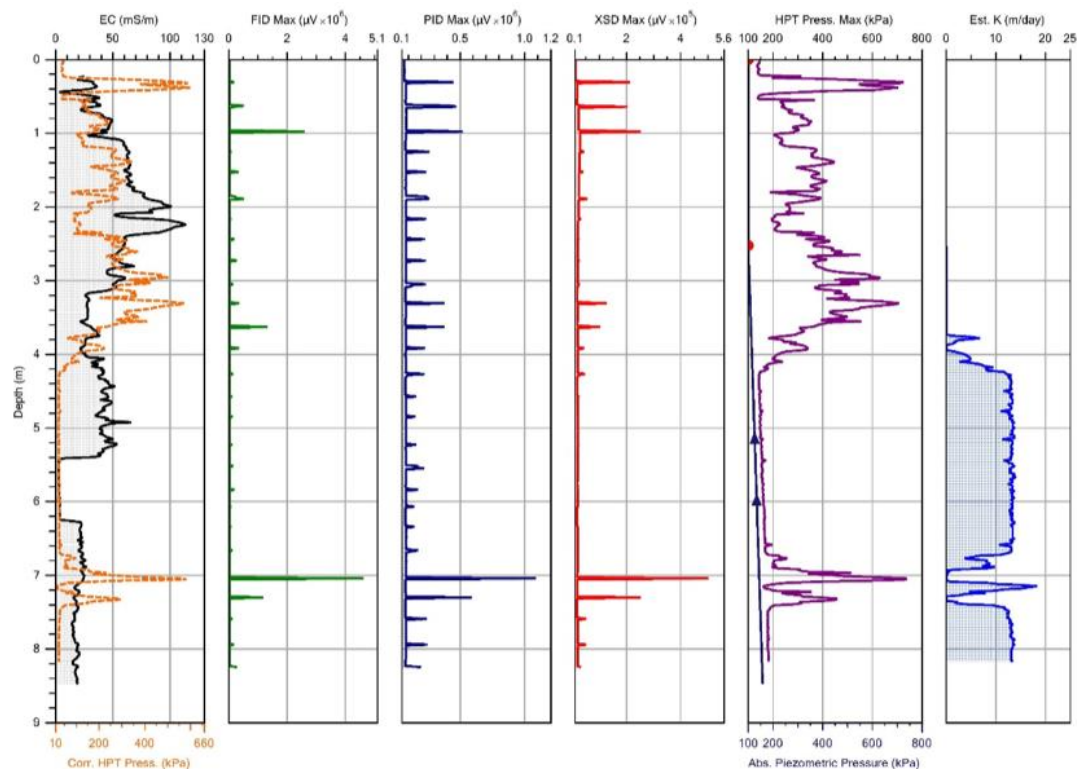
Introducir una sonda de alta resolución en el suelo para recopilar datos detallados de caracterización del sitio subsuperficial

HRSC se usó en un gran sitio histórico con contaminación generalizada de compuestos orgánicos volátiles clorados (COVC). Aunque se han completado numerosas investigaciones ambientales anteriores en las últimas décadas, gran parte de los resultados analíticos estaban desactualizados y / o incompletos, y sin embargo, el propietario estaba ansioso por avanzar con la remediación a gran escala. Los rangos iniciales de los costos estimados de remediación fueron bastante amplios debido a la incertidumbre en torno a la contaminación del subsuelo. No interesado en completar una investigación adicional de la Evaluación del Sitio Ambiental de Fase II (ESA) para actualizar / actualizar los datos analíticos para el sitio, el cliente solicitó en su lugar la realización de una instantánea más completa del subsuelo para comprender la distribución de los COV en el sitio y, al hacerlo, Todas las herramientas HRSC de Vertex se implementaron en el sitio, incluida la fluorescencia inducida por láser (LIF), la sonda de interfaz de membrana (MIP), la sonda de interfaz de membrana de bajo nivel (LLMIP) y la herramienta de perfilado hidráulico (HPT). La herramienta más utilizada

²⁶ Vertex Environmental Inc, Caracterización de alta resolución (HRSC)

demostró ser LLMiHpt (LLMIP y HPT combinados en una sola pulsación). Esta sonda combinada permitió una adquisición de datos significativa con un solo impulso, para caracterizar no solo la permeabilidad del subsuelo sino también la presencia, el tipo y la distribución de contaminantes.

Imagen 2. 25. Ejemplo de datos recopilados en una sola pulsación de la sonda LLMiHpt

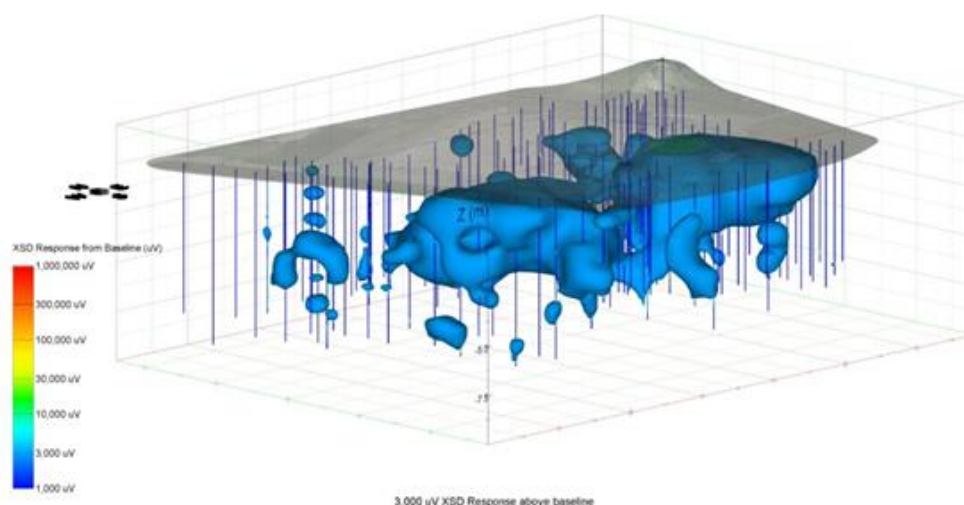


Fuente: Vertex Environmental Inc.

Se avanzó un total de ciento ochenta (180) ubicaciones en el sitio que arrojaron casi 300,000 puntos de datos entre la sonda de conductividad eléctrica (EC) a bordo, los tres detectores MIP (PID, FID y XSD) y el transductor de presión de fondo de pozo.

|

Imagen 2. 26: Visualización de los impactos del CVOC subsuperficial en el sitio de trabajo del estudio de caso



Fuente: Vertex Environmental Inc.

Estos datos se importaron al software de visualización 3D de Vertex para comprender cómo se distribuyen los contaminantes en el sitio en 3D. Esta instantánea a tiempo para el sitio fue valiosa para el cliente al diseñar un plan de remediación a gran escala.

Los impactos del subsuelo se delinearon de manera eficiente y efectiva utilizando las herramientas de empuje directo HRSC. La herramienta LIF se usó para delinear potenciales líquidos de fase ligera no acuosa (LNAPL) que pueden haber permanecido en el subsuelo cerca de excavaciones correctivas previas. Las herramientas MiHpt, LLMiHpt y LLMIP se utilizaron para delinear cualquier impacto de VOC de fase disuelta restante en el sitio. Durante el proyecto, se descubrió un "punto caliente" previamente desconocido de cVOC y se delineó rápidamente con las herramientas de alta resolución. Si el proyecto se hubiera movido a la fase de remediación sin esta información, podría haber posibles sobrecostos desconocidos o contaminación que probablemente se hubiera pasado por alto.

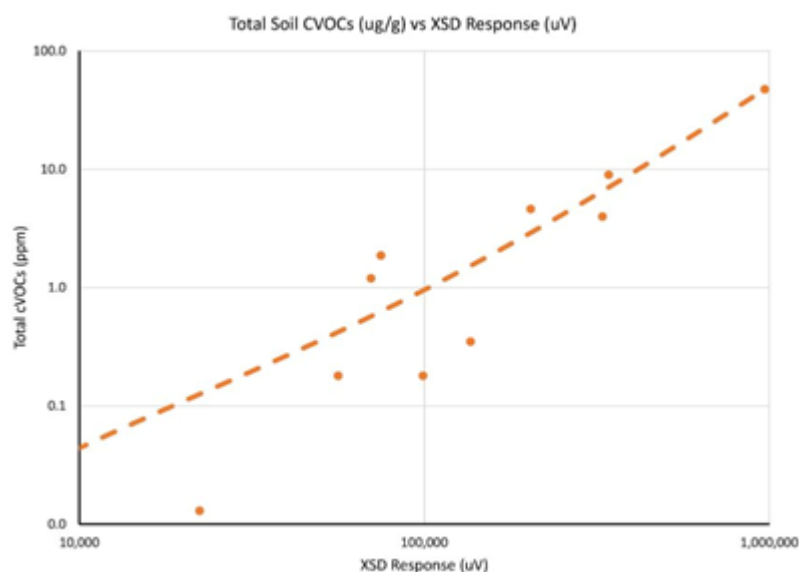
Imagen 2. 27: Herramientas de alta resolución que se empujan y recopilan datos: precisión vertical de hasta 1 cm



Fuente: Vertex Environmental Inc.

El operador del area también quería poder relacionar la información analítica previa de la Fase II con el conjunto de datos HRSC actualizado. Esto se logró utilizando datos analíticos de investigación históricos y recientes que se correlacionaron con ubicaciones cercanas donde se recopilaron datos de alta resolución. Correlacionar los conjuntos de datos se ha convertido en una práctica común aquí en Vertex, ya que esto puede permitir una estimación del grado de contaminación en relación con los estándares numéricos que se definirán tanto vertical como horizontalmente. Se desarrolló una 'curva de calibración' para el sitio y se aplicó al conjunto de datos HRSC para estimar la concentración analítica en función de la respuesta de LLMiHpt.

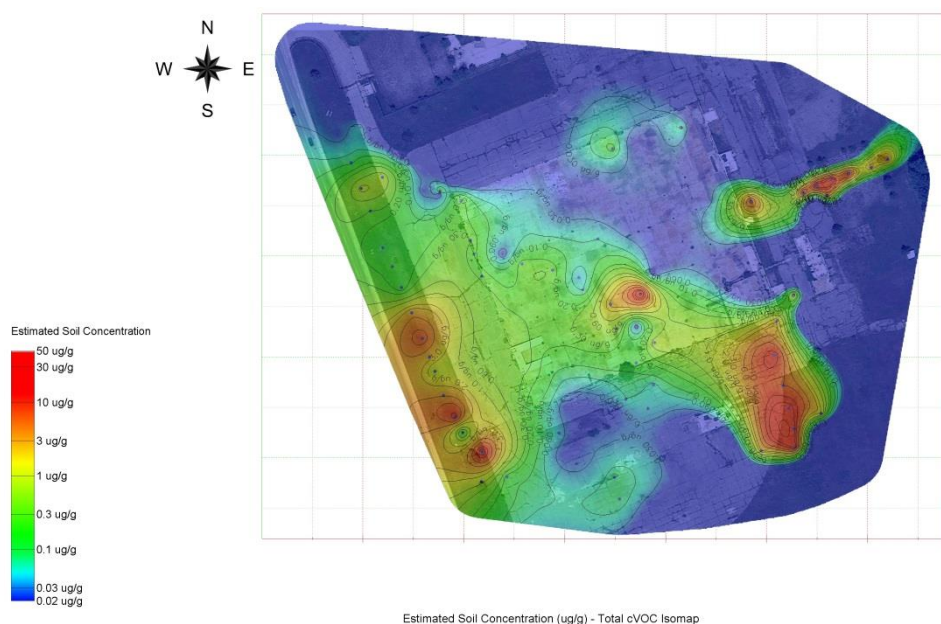
Imagen 2. 28: Correlación de datos analíticos del suelo y de alta resolución



Fuente: Vertex Environmental Inc.

Los datos analíticos del solvente clorado (cVOC) se compararon con los datos de HRSC para las ubicaciones correlacionadas y luego se extrapolaron a todo el conjunto de datos de HRSC para obtener un perfil de concentración teórico para el sitio.

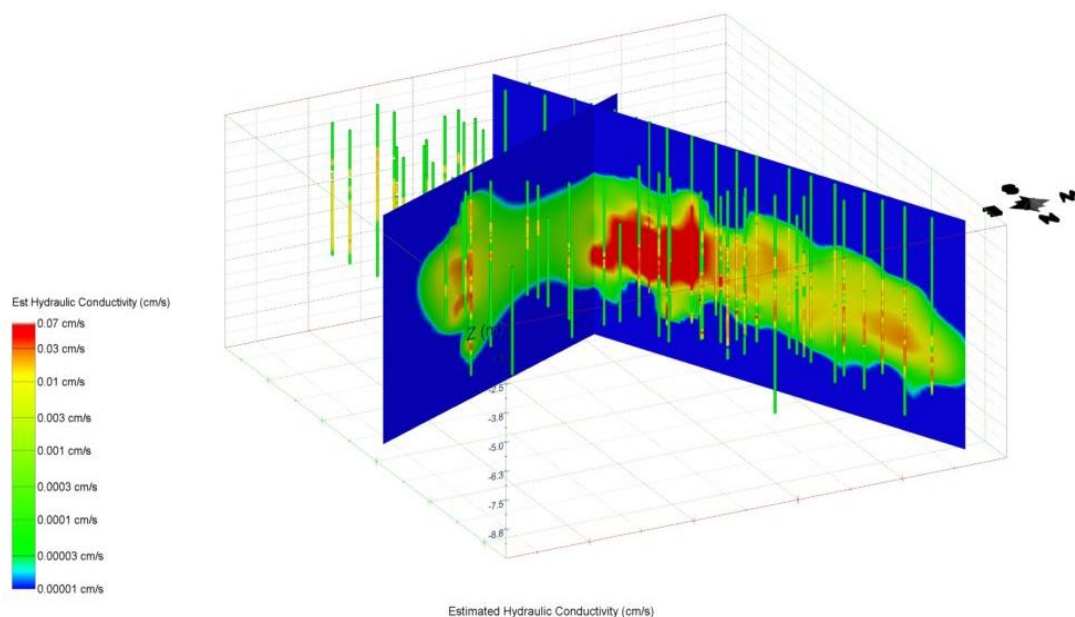
Imagen 2. 29: Concentraciones estimadas de CVOC en el suelo: basadas en los datos de alta resolución



Fuente: Vertex Environmental Inc.

Los puntos calientes de respuestas más altas se identificaron tanto lateralmente como verticalmente en el sitio. No solo se delinearon verticalmente los impactos, sino que se identificaron las zonas de alta y baja permeabilidad del suelo al mismo tiempo. La combinación de la concentración de contaminantes y la permeabilidad del suelo permite una comprensión detallada del flujo de masa contaminante, el riesgo y, en última instancia, da como resultado un mejor diseño correctivo.

Imagen 2. 30: Permeabilidad estimada del suelo - Conductividad hidráulica (cm / s) - Visualización 3D - Precisión de escala de hasta 1 cm



Fuente: Vertex Environmental Inc.

Comprender la permeabilidad del subsuelo es importante, especialmente para la remediación in situ y cualquier tecnología de extracción de aguas subterráneas. Utilizando los datos de HPT (herramienta de perfilado hidráulico), los resultados del análisis de permeabilidad se mostraron en 3D y proporcionaron al cliente una comprensión mucho mejor de cómo y dónde se movía el agua subterránea en el subsuelo en su sitio.

Se demostró el poder de utilizar la Caracterización del sitio de alta resolución en este sitio, ya que los cVOC se delinearon en detalle tanto horizontal como verticalmente, se identificó un nuevo "punto caliente", los datos analíticos históricos se correlacionaron con los nuevos datos HRSC, la permeabilidad del subsuelo de la se caracterizó el sitio, se crearon visualizaciones 3D detalladas y, en última instancia, ahora se están obteniendo estimaciones de costos correctivos muy precisas. En comparación con un enfoque tradicional de Fase II ESA (perforación y muestreo), es probable que se hayan requerido múltiples iteraciones y movilizaciones para lograr incluso el mismo nivel de delineación en el sitio. ¡Las herramientas HRSC permitieron una comprensión más rápida, menos costosa y más completa del sitio!

2.1.8 Definiciones

Para la aplicación de los Criterios para la Caracterización de los sitios contaminados se debe considerar las siguientes definiciones:

Abandono del pozo.- Trabajos que se efectúan para dejar herméticamente cerrado un pozo y en condiciones seguras.

Contaminante.- Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo, susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

Emisiones gaseosas fugitivas.- Emisiones que se escapan sin control de un sistema de captación, transporte o almacenamiento, debido a un mal diseño o por la presencia de desperfectos. Estas emisiones pueden salir por pozos petroleros abandonados ductos, tanques de almacenamiento u otras instalaciones.

Hidrocarburos.- Comprende todo compuesto orgánico, gaseoso, líquido o sólido formado principalmente por carbono e hidrógeno.

Instrumentos de gestión ambiental.- Son mecanismos orientados a la ejecución de la política ambiental. Constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario, para hacer efectivo el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales. Entre ellos, se encuentran la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), el Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d) y Semidetallado (EIA-sd) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).

Pozo petrolero.- Cavidad en la corteza terrestre que resulta de la perforación efectuada para descubrir o producir hidrocarburos, inyectar agua o gas o para otros objetivos.

PERÚPETRO.- Es la empresa estatal de derecho privado que, en representación del Estado peruano, se encarga de promocionar, negociar, suscribir y supervisar contratos para la exploración y explotación de hidrocarburos en el Perú.

Agua subterránea afectada.- Es aquella agua subterránea cuyas funciones ecosistémicas se encuentran deterioradas o que presenta una calidad que no es apta

para su uso por el hombre, como consecuencia de la alteración de sus características naturales por influencia antropogénica.

Área de potencial afectación.- Se trata de zonas adyacentes a los lugares donde se instalarán componentes o se desarrollarán procesos de actividades antrópicas potencialmente contaminantes para el suelo, que han sido identificadas en el marco de la elaboración de la línea base, y que a su vez se ubican en el área de influencia directa del proyecto.

Área de potencial interés.- Se trata de áreas identificadas durante la Fase de Identificación en las cuales existen indicios o evidencias de contaminación del suelo, sobre el cual se realizarán las labores de muestreo.

Atenuación natural monitoreada.- Es un enfoque de gestión del sitio contaminado en el que se hace seguimiento a los procesos físicos, químicos y biológicos de degradación natural de los contaminantes, que reducen la masa, toxicidad y/o movilidad de la contaminación en suelos o aguas subterráneas, a niveles aceptables para la salud y el ambiente.

Autoridad competente.- Para efectos de la presente norma, es aquella entidad del gobierno nacional, regional o local con competencias para emitir la certificación ambiental en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA).

Contaminante de potencial interés.- Cualquier sustancia química susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente, asociada a las actividades antrópicas que se desarrollan o desarrollaron en el sitio bajo estudio. Son aquellas sustancias en las cuales se enfoca el muestreo de identificación y el muestreo de detalle, tras las conclusiones de la evaluación preliminar.

Fase libre.- Este término también se denomina “producto libre” y describe la presencia de sustancias no acuosas que se caracterizan por no formar mezclas con el agua o el suelo. Se utiliza frecuentemente para contaminaciones con hidrocarburos que flotan sobre un espejo de agua o que son visibles en la superficie del suelo.

Foco de contaminación.- Este término se denomina también “fuente secundaria de contaminación” o “hotspot”, y comprende los componentes ambientales afectados por las fuentes primarias de contaminación, que se caracterizan por presentar altas

concentraciones de contaminantes y ser potenciales generadores de contaminación en otros componentes ambientales.

Fuente de contaminación.- Este término se denomina también “fuente primaria de contaminación”, y comprende cualquier componente, instalación o proceso de actividades antrópicas, que puede liberar contaminantes al medio ambiente.

Indicios de contaminación.- Son circunstancias o signos suficientemente acreditados que permiten inferir de forma preliminar la posible existencia de un sitio contaminado.

Medidas de aseguramiento.- Son aquellas técnicas de remediación que tienen por objeto evitar la dispersión de los contaminantes a largo plazo o disminuir la exposición de los receptores a niveles que no impliquen riesgos para la salud y el ambiente. Estas medidas pueden contemplar, por ejemplo, el encapsulamiento, confinamiento, sellado, inmovilización, drenaje de gases y barreras hidráulicas o permeables.

Medidas de descontaminación.- Comprenden aquellas técnicas de remediación que tienen por objeto eliminar o reducir los contaminantes del sitio hasta alcanzar los ECA para Suelo, los niveles de fondo o los niveles establecidos en el Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA). Esta clase de medidas pueden contemplar técnicas fisicoquímicas (como la excavación de suelo contaminado, extracción del aire del suelo, bombeo y tratamiento de aguas subterráneas, enjuague de suelos y tratamientos químicos in-situ), biológicas (como la biodegradación in-situ, fitorremediación, landfarming, tratamientos ex-situ, on-site y off-site en biopilas y compostaje), térmicas (como la incineración y desorción térmica), entre otras.

Modelo Conceptual.- Relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos, que determinan el transporte de contaminantes desde las fuentes de contaminación hasta los potenciales receptores, a través de los componentes ambientales que forman parte de dicho sistema.

Nivel de Fondo.- Concentración de origen natural de una o más sustancias químicas presentes en los componentes ambientales, que puede incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio potencialmente contaminado o sitio contaminado.

Nivel de Remediación Específico.- Es la concentración de una sustancia química, determinada de manera específica para las condiciones de un sitio contaminado, a través de una evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA).

Plan dirigido a la remediación.- Es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad la remediación de sitios contaminados originados por actividades antrópicas pasadas o presentes.

Pluma de contaminación.- En general, este término comprende aquella descarga visible o medible de un contaminante partiendo desde un punto de origen. En el caso de las aguas subterráneas, se denomina pluma de contaminación al acuífero que contiene el agua contaminada, que se origina por la infiltración de contaminantes al subsuelo.

Proyecto.- Para efectos de la presente norma, se debe entender como proyecto lo establecido en la normativa del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA).

Remediación.- Este término implica la eliminación o reducción, a niveles aceptables, de los riesgos para la salud de las personas o el ambiente asociados a la contaminación del sitio. Además comprende las acciones que permitan lograr el uso posterior del sitio o el restablecimiento del mismo a un estado similar al presentado antes de ocurrir los impactos ambientales negativos.

Sedimentos.- Material no consolidado depositado por procesos fluviales o marinos recientes, y que se encuentran permanente o temporalmente por debajo del espejo de aguas superficiales.

Sitio contaminado.- Área en la cual el suelo contiene contaminantes provenientes de actividades antrópicas, en concentraciones que pueden representar riesgos para la salud o el ambiente, debido a que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, estándares internacionales aprobados por el MINAM o los niveles de fondo, siempre que estos últimos presenten valores que excedan dichos estándares. El área identificada como sitio contaminado puede comprender el agua subterránea subyacente, los sedimentos u otros componentes ambientales, que resulten afectados por la contaminación del suelo, cuando se encuentren dentro de esta.

Sitio potencialmente contaminado.- Área en la cual el suelo puede contener contaminantes provenientes de actividades antrópicas. El sitio potencialmente contaminado puede comprender el agua subterránea subyacente, los sedimentos u otros componentes ambientales, cuando estos resulten afectados por la presunta contaminación del suelo.

Suelo.- Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

Tasa móvil.- Es la fracción de una sustancia contaminante en el suelo que puede ser movilizad a través de lixiviados, aguas subterráneas o la fase gaseosa del suelo. La tasa móvil es un factor importante para determinar el potencial de migración del contaminante en el ambiente.

2.2 Marco Normativo Nacional

Numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

El artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida.

Ley N° 29325 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

Ley N° 26221 – Ley Orgánica de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 042-2005-EM.

Ley N° 29134 - Ley que regula los Pasivos Ambientales en el Subsector Hidrocarburos.

Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2006-EM.

Reglamento de la Ley que regula los Pasivos Ambientales en el Subsector Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2011-EM.

Resolución Ministerial N° 042-2013-MINAM que precisa que el OEFA es competente para ejercer la función de identificación de pasivos ambientales de hidrocarburos.

Plan de Identificación de Pasivos Ambientales en el Subsector Hidrocarburos 2013 - 2014 del OEFA, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 005-2013-OEFA/CD.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM, Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados.

2.3 Antecedentes

2.3.1 Sitios contaminados en el noroeste del Peru

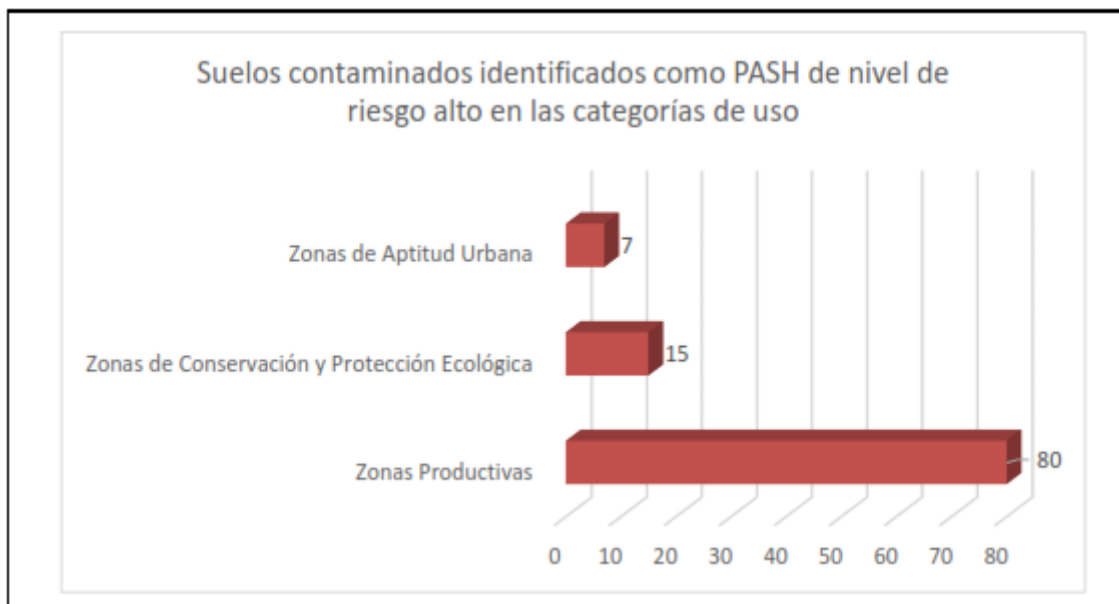
Sin duda el noroeste del Peru cuenta con mucho mas historia de exploración y explotación de hidrocarburos, a dicha historia le acompañan los pasivos ambientales del sector hidrocarburos (PASH) Los tipos de PASH y niveles de riesgo de los informes de identificación fueron registrados en una base de datos para su análisis. Se obtuvo un total de 3750 PASH identificados en el departamento de Piura, desde el 2013 hasta setiembre del 2017; de los cuales 2147 poseen suelo contaminado (SC), lo que representa el 57% de los PASH identificados y 1603 corresponden a otros tipos de PASH

Según la estimación de nivel de riesgo (NDR) realizado por el OEFA, de las 2147 áreas de suelo contaminado identificados como PASH, 102 son de riesgo alto, es decir, representan una alta amenaza para la zona en la que se ubican; 1935 de riesgo medio, representan una amenaza media para la zona en la que se ubican y lo restante, representan una baja para la zona en la que se ubican.

Los suelos contaminados identificados como PASH de nivel de riesgo alto se encuentran distribuidos en tres categorías de uso. El 78% se encuentra en zonas productivas, el 15% en zonas de conservación y protección ecológica y el 7% en zonas

de aptitud urbana. Es importante indicar que no se identificó suelos contaminados como PASH en zonas de aptitud industrial. En la Figura 43 se muestra la distribución los suelos contaminados identificados como PASH de nivel de riesgo alto en las categorías de uso de suelo de la ZEE de Piura y en la Figura 44 se observa su distribución espacial.

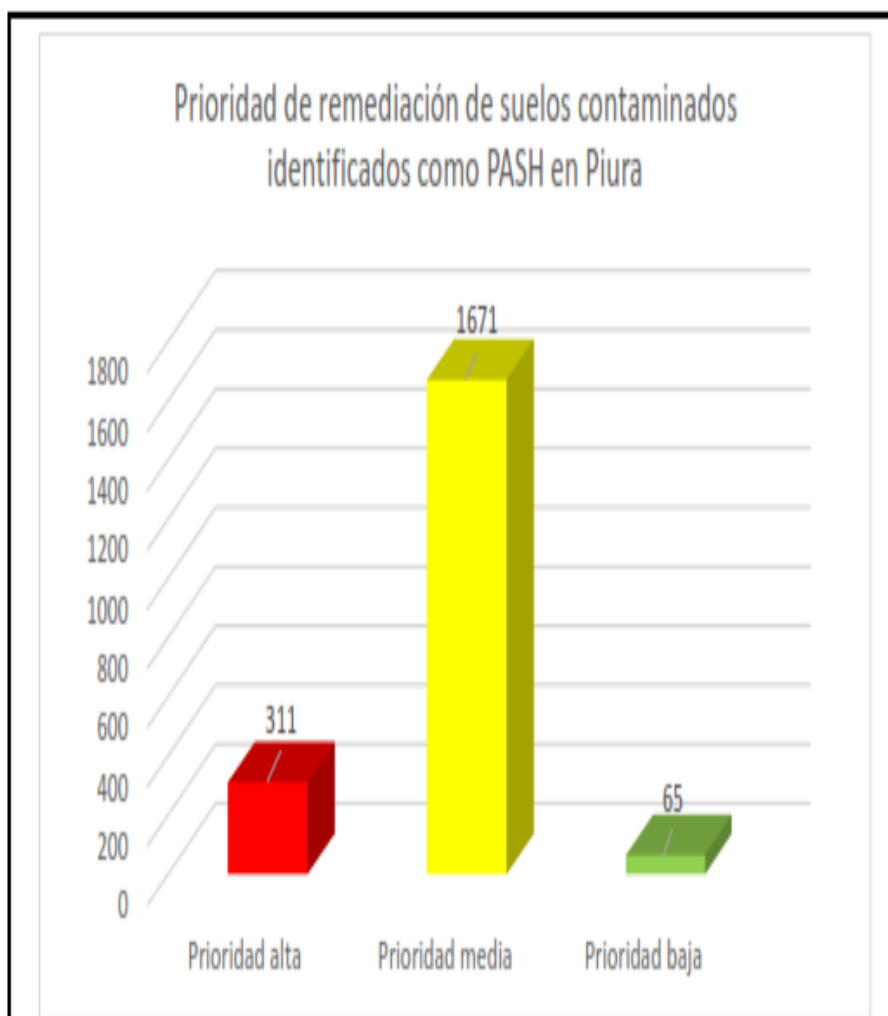
Imagen 2. 31: Suelos contaminados identificados como PASH de nivel de riesgo alto en las categorías de uso de suelo de la ZEE de Piura



Fuente: Xiomara (2019)

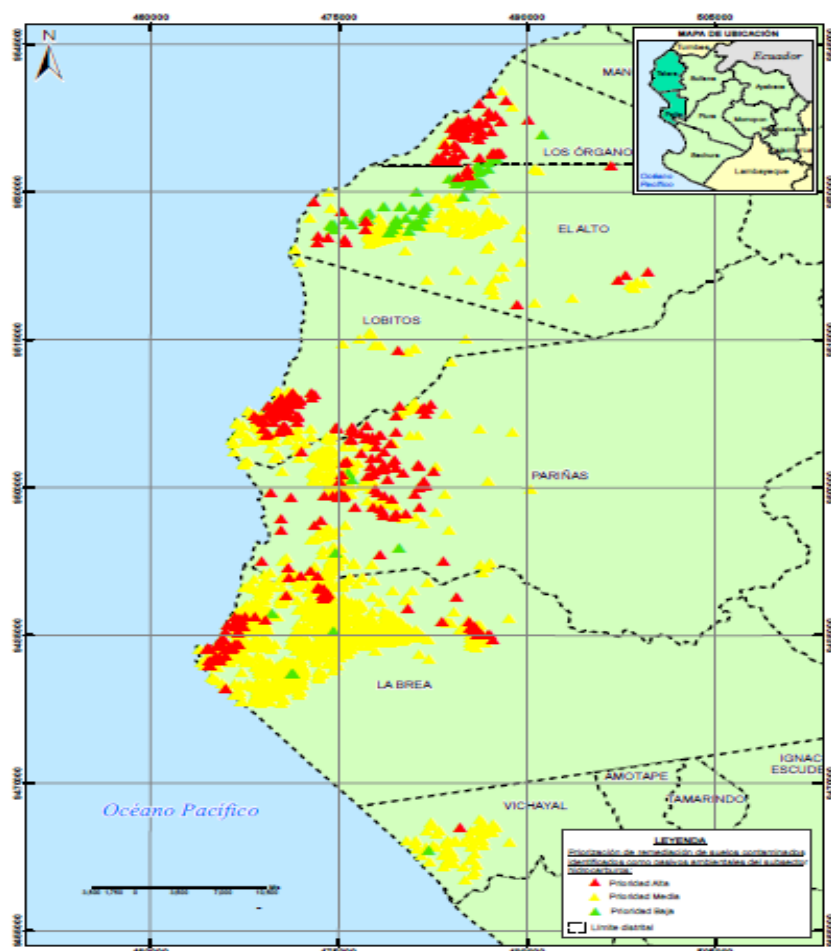
Los resultados de la priorización de áreas que requieren remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura, indican que, el 15% de áreas de suelo contaminado son de prioridad alta, el 82% de prioridad media y el 3% son de prioridad baja. En la Figura 49 se muestra la distribución de la priorización de remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura y en la Figura 50 se observa su distribución espacial.

Imagen 2. 32: Priorización de áreas que requieren remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura



Fuente: Xiomara (2019)

Imagen 2. 33: Distribución espacial de la priorización de áreas que requieren remediación de suelos contaminados identificados como PASH en el departamento de Piura.



Fuente: Xiomara (2019)

2.3.2 Sitios contaminados en selva norte

En situaciones de aislamiento geográfico y ecosistemas frágiles como es el caso de los lotes ubicados en la selva norte (Loreto), lote 192, lote 8 los cuales conjuntamente con el oleoducto norperuano (ONP) son las operaciones de exploración, explotación y transporte de hidrocarburos que representan al mayor número de sitios contaminados en la selva norte.

Los Lotes 1AB, 8, y 8X llevan más de 40 años de vida y son los campos petroleros más antiguos de Loreto. La remediación de petróleo en una Area nacional protegida (ANP), específicamente La Reserva Natural Pacaya Samiria en el Lote 8X, requiere un cuidado especial debido a la gran diversidad biológica, los objetivos de protección del medio ambiente a largo plazo establecidos para las ANPs por el gobierno peruano, el

aislamiento, la relativa falta de supervisión gubernamental, y la presencia de las comunidades indígenas cercanas. Información sobre contaminación existente y de los esfuerzos de remediación en Lotes 1AB, 8, y 8X. En general, se ha hecho muy poca remediación de suelos y otros recursos naturales, y polución de larga duración todavía existe.

Las fuentes más importantes de contaminación en los sitios petroleros y sus contaminantes más comunes en la selva norte son: los lodos de perforación (bario, sulfato); el petróleo crudo (hidrocarburos de petróleo, metales); el agua producida (sales, metales, hidrocarburos de petróleo, y materiales radioactivos); y los productos químicos utilizados en las operaciones de mantenimiento (ácido clorhídrico, biosidas). Los sitios con suelo contaminado por derrames de petróleo o agua producida comúnmente tienen también aguas subterráneas contaminadas. Los hidrocarburos de petróleo, metales, y sales pueden estar adsorbidos en el suelo y también se moverán con las aguas subterráneas para ser introduciéndose en los acuíferos y en aguas superficiales gradiente abajo.

2.3.2.1 Fuentes, comportamiento, e identificación de contaminantes en la selva norte.

En general, cualquier contaminación petrolera existe en uno de cuatro fases físicas:

- Producto libre (puro crudo).
- Contaminante adsorbido (pegado físicamente al suelo, sedimento en los ríos, o material biológico).
- Contaminante disuelto en el agua
- Contaminante en forma de vapor dentro de los poros del suelo y en el aire libre.

Una variedad de residuos generados durante la exploración y explotación de petróleo pueden contaminar el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales. Los tipos de residuos más comunes provenientes de proyectos típicos incluyen:

- Exploración: Los lodos utilizados para perforar el pozo de petróleo puede contener diésel²⁷ y metales, especialmente bario. El petróleo crudo de pruebas de bombeo se coloca con los desechos líquidos y lodos de perforación en huecos de tierra ("piscinas") sin forro.
- Plataforma de Explotación: El petróleo crudo que se derrama en la plataforma durante las operaciones de explotación.
- Operación y Mantenimiento: Los desechos de mantenimiento pueden incluir biosidas y ácidos fuertes. En épocas pasadas, estos desechos se colocaban generalmente en fosas (o "piscinas") en el suelo de desechos sin forro.
- Estación de Separación: El crudo que está bombeado desde los pozos contiene agua de las formaciones geológicas profundas conocidas como agua producida. El petróleo se separa del agua producida en las estaciones de separación. Los desechos de separación pueden incluir agua producida que se debe reinyectar por pozos profundos o, en el pasado, estaba vertido a los ríos; los derrames de grandes tanques de almacenamiento de petróleo; y las filtraciones por pozos y estanques.
- Residuos de Transporte: Son los derrames de crudo provenientes de las líneas de flujo y los oleoductos durante el transporte de los pozos a las estaciones de separación y luego a las refinerías por la vía fluvial o el Oleoducto Norperuano.

El petróleo crudo permanecerá en el suelo si no se remedia. Si la cantidad es suficiente, el "producto libre" estará presente en la capa freática de agua. La porción disuelta del derrame se moverá con las aguas subterráneas en la dirección del flujo de agua subterránea y contaminará el suelo y el agua subterránea aguas abajo del sitio contaminado (Gráfico 1). Cuando el agua de lluvia se infiltra, se volverá a movilizar petróleo en el suelo y lo empujará como componente del agua subterránea.

²⁷ Argonne National Laboratory, Environmental Science Division:
<http://web.ead.anl.gov/dwm/techdesc/lower/>

imagen 2. 34. El movimiento de los contaminantes procedentes de fuentes de campos petroleros a través del suelo y agua subterránea



Fuente: Estudio de caracterización lote 8, Plus Petrol Norte

Las condiciones saturadas del suelo alrededor de las plataformas, las baterías, y los tanques crean desafíos para contener el petróleo y el diésel derramado. El crudo en fase disuelto, los combustibles que se han mezclado con el agua, y el crudo emulsionado son extremadamente difíciles de recuperar debido a que:

- El petróleo se adsorbe a la materia vegetal en la superficie del suelo o dentro de la zona de raíces poco profundas.
- Petróleo que flota en un principio, puede hundirse y mezclarse con la vegetación a través del tiempo - lo que hace aún más difícil de recuperar.
- Mezclas de agua y petróleo pueden llegar a ser incluso más móviles y extenderse lateralmente cuando la profundidad del agua aumenta por las lluvias.
- Las condiciones de suelo húmedo y suave requieren el uso de equipos de excavación especializados que pueden moverse en condiciones saturadas.

Los parámetros para las investigaciones de sitios afectados por operaciones de petróleo se deben basar en una revisión completa de las operaciones históricas para entender lo que podría estar presente en los desechos, el suelo, y las aguas subterráneas y superficiales. Estos parámetros incluyen, como mínimo:

- Parámetros generales, parámetros de campo, y nutrientes: pH, sólidos disueltos totales, conductividad específica, oxígeno disuelto, nitrato/nitrito, amoníaco
- Metales: incluyendo bario, cadmio, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo, mercurio.
- Hidrocarburos totales de petróleo (TPH): incluyendo análisis separados para los ligeros (C5 a C10), medianos (C10 a C28) y pesados (C28 a C40) - en función del tipo de petróleo crudo.
- BTEX y otros compuestos orgánicos volátiles: benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos y compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs): como benzo (a) pireno, benzo (j, k) fluoreno (fluoranteno), antraceno. Estos compuestos tóxicos y semi-volátiles persisten durante largos periodos de tiempo en los suelos y el agua y no son fáciles de tratar por métodos convencionales, incluyendo la biorremediación, fitorremediación, e incluso algunas formas de incineración
- Sales: cloruro, sulfato, sodio.
- Materiales Radiactivos Naturalmente Presentes (NORMs en inglés): elementos radioactivos como el radio, el uranio, el torio, y el plomo-210 pueden derivar de las formaciones geológicas profundas que contienen el aceite y el agua producida. El agua producida, los lodos en los tanques de agua y petróleo, pueden contener NORMs y deben ser eliminados adecuadamente. Ductos de uso frecuente pueden contener NORMs. Exposición de los trabajadores durante la manipulación de equipos contaminados y el radio de respiración es un problema de seguridad para las fases de producción y remediación de la explotación de petróleo.

El 30 de enero del 2015, Pluspetrol Norte entregó a PERUPETRO S.A., información sobre los pasivos ambientales²⁸ encontrados en el Lote 1-AB, en cumplimiento del artículo 2° de la Resolución Ministerial N°536-2014 MEM/DM. Pluspetrol manifiesta que el lote 1ab hoy Lote 192 contaba con 2014 pasivos ambientales distribuidos en diferentes tipos.

Tabla 2. 6. Tipo y cantidad de pasivos en el lote 192

| Tipos de pasivos | Cantidad de pasivos |
|------------------------------------------------|---------------------|
| Agua superficial potencialmente impactada | 61 |
| Instalaciones, equipos y facilidades inactivos | 847 |
| Pozos Abandonados | 15 |
| Residuos industriales | 425 |
| Residuos Solidos | 55 |
| Sedimentos potencialmente impactados | 80 |
| Suelos potencialmente impactados | 531 |
| Total | 2014 |

Fuente: Propia de la investigadora , lista de pasivos de Pluspetrol Norte (2015) ²⁹

Tabla 2. 7: Pasivos Identificados por Plus Petrol en la cuenca del Lote 192

| Tipo de pasivos ambientales | Cantidad |
|-----------------------------|-------------|
| Cuenca del río Pastaza | 873 |
| Cuenca del río Corrientes | 697 |
| Cuenca del río Tigre | 438 |
| Distrito de Trompeteros | 6 |
| TOTAL | 2014 |

Fuente: Propia de la investigadora, lista de pasivos de Pluspetrol Norte (2015)

²⁸ La designación de pasivos ambientales fue dada por la misma empresa dado que el OEFA ya había indicado que en el Lote 1-AB no se pueden configurar pasivos ambientales.

²⁹ Pluspetrol Norte S.A. 2015. Informe de identificación de pasivos ambientales en el Lote 1-AB

Tabla 2.7. Pasivos Identificados por OEFA en la cuenca del Lote 192

| CUENCA | NUMERO DE SITIOS CONTAMINADOS |
|--------------|-------------------------------|
| Pastaza | 38 |
| Tigre | 37 |
| Corrientes | 17 |
| TOTAL | 92 |

Fuente: Propia de la investigadora de informe N°411-2014-OEFA/DS-HID³⁰

Tabla 2. 8: Parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental.

| Componente ambiental | Parámetros excedidos con mayor frecuencia |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Agua | pH, OD, P Total, Pb, aceites y grasas |
| Sedimento | As total, Cd total, Cu total, Cr Total, Zinc Total, Hg Total, HTP |
| Suelo | Ba, Pb, FH 2, FH3. |

Fuente: Propia de la investigadora

³⁰ Morales, D., Merino, M., Fajardo, L., Tafur, K., Boy, S., 2014. Resumen ejecutivo sobre la situación ambiental del Lote 1-AB operado por la empresa Pluspetrol Norte S.A. Lima, Perú. OEFA. Informe N° 4112014-OEFA/DS-HID.

Tabla 2. 9: Parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental

| | Informe N°411- 2014OEFA | IPA | IISC | IMP SA 2015 | IMP 2016 |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|---------|----------------|-------------|
| Informe N°411- 2014OEFA | 92 sitios | 77 sitios | Ninguna | Ninguna | Ninguna |
| IPA | 77 sitios | 2014 | 81 | Ninguna | ninguna |
| IISC | Ninguna | 81 | 132 | Ninguna | Ninguna |
| I.M.P.S.A 2015 | Ninguna | Ninguna | Ninguna | 11 | |
| IMP 2016 | Ninguna | Ninguna | Ninguna | Ninguna | 68 |

Fuente: Propia de la investigadora

2.3.3 Oleoducto Norperuano

Es una de las obras más importantes y de mayor envergadura que se haya realizado en los últimos 100 años en el Perú. La historia se inició en 1972, cuando el Gobierno encargó a PETROPERÚ S.A., dependiente en aquella época del Ministerio de Energía y Minas, realizar los estudios requeridos para la construcción del Oleoducto Norperuano (ONP) y plantear los contratos con las compañías capaces de efectuar tal obra.

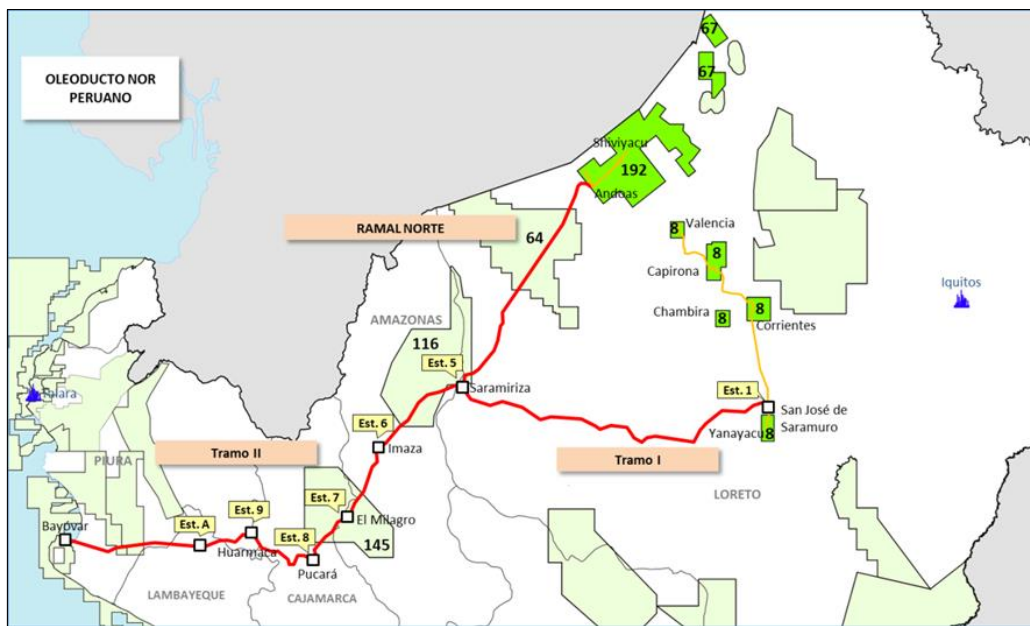
El contrato para el diseño definitivo fue adjudicado en 1973 a la firma Bechtel, y la entrega del expediente para licitar la construcción concluyó en junio de 1974.

La construcción del ONP comenzó en setiembre de 1974 y demandó una gran cantidad de mano obra. Durante su período de mayor actividad, se requirió la participación de 7,800 trabajadores. Además, gracias a la pericia y experiencia de los mejores constructores de oleoductos del mundo, la construcción solo demoró dos años.

Es así que, para el 31 de diciembre de 1976, la Estación 1 del ONP (San José de Saramuro) recibió petróleo de los yacimientos de PETROPERÚ S.A., llegando el primer frente de petróleo crudo al Terminal de Bayóvar el 24 de mayo de 1977.

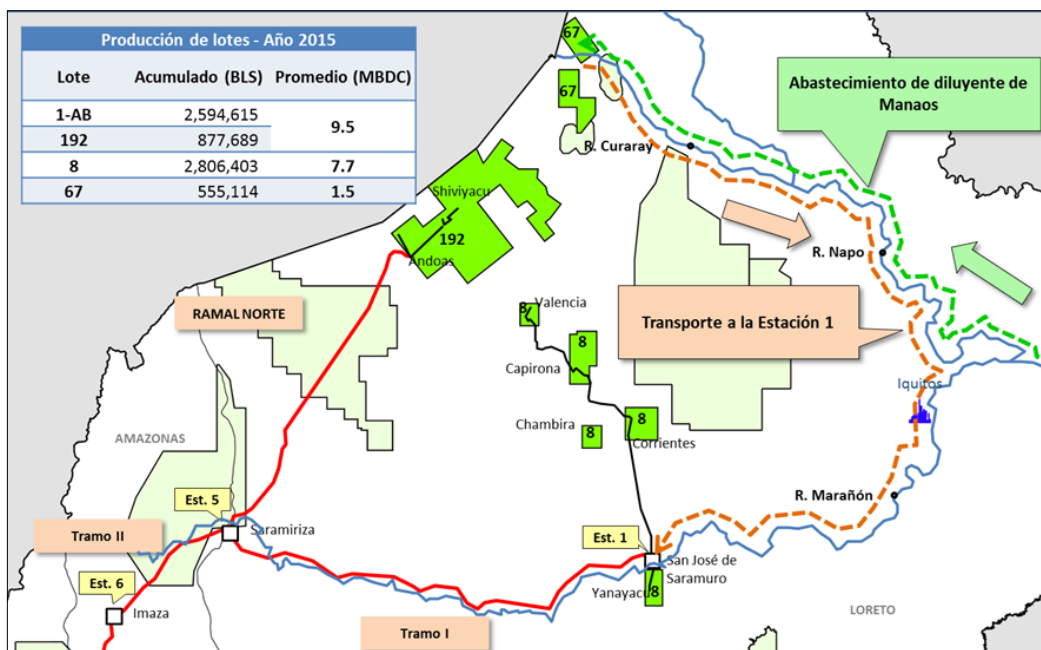
Para el 7 de junio de 1977, el buque tanque Trompeteros realizó el primer embarque de crudo con destino a la Refinería La Pampilla, en Lima. En el año 1976 se inició la construcción del Oleoducto Ramal Norte (ORN) para transportar petróleo crudo desde la Estación Andoas hasta la Estación 5, entrando en operación el 24 de febrero de 1978.

Imagen 2. 35: Oleoducto Norperuano



Fuente: Petroperú

Imagen 2. 36: Producción de crudo de lotes 192, 8 y 67

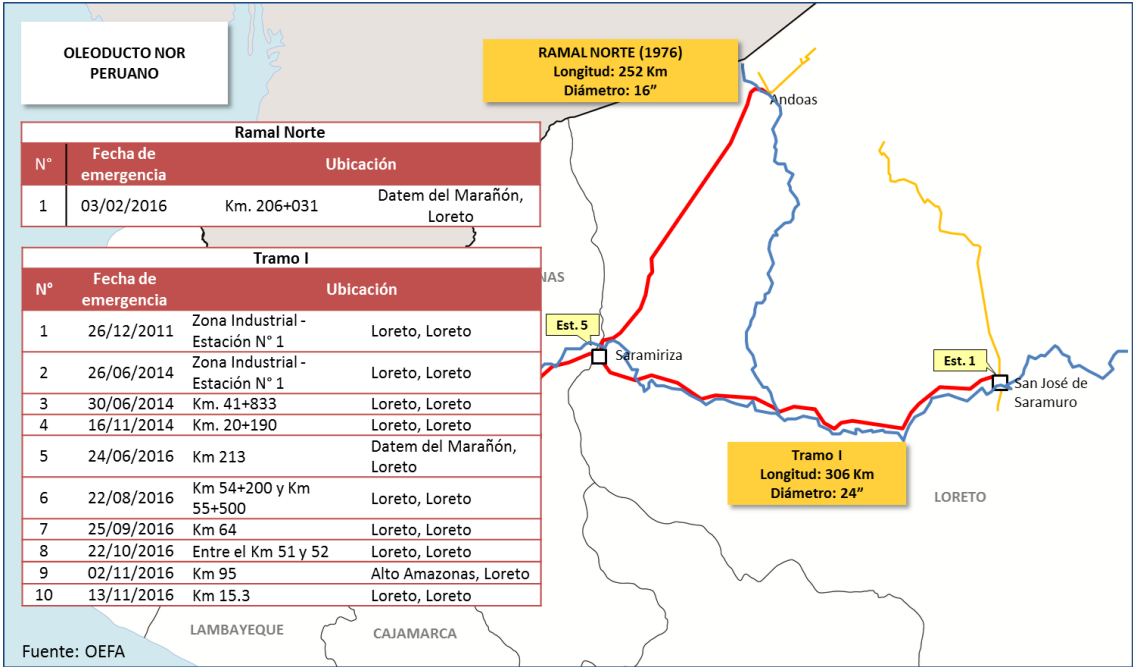


Fuente: Petroperú

PETROPERU es la empresa estatal encargada de la operación y mantenimiento del ONP, oleoducto donde el 2016 ocurrieron 13 derrames (12 de ellos en la selva) de hidrocarburos y uno más, en julio del año, 2017.

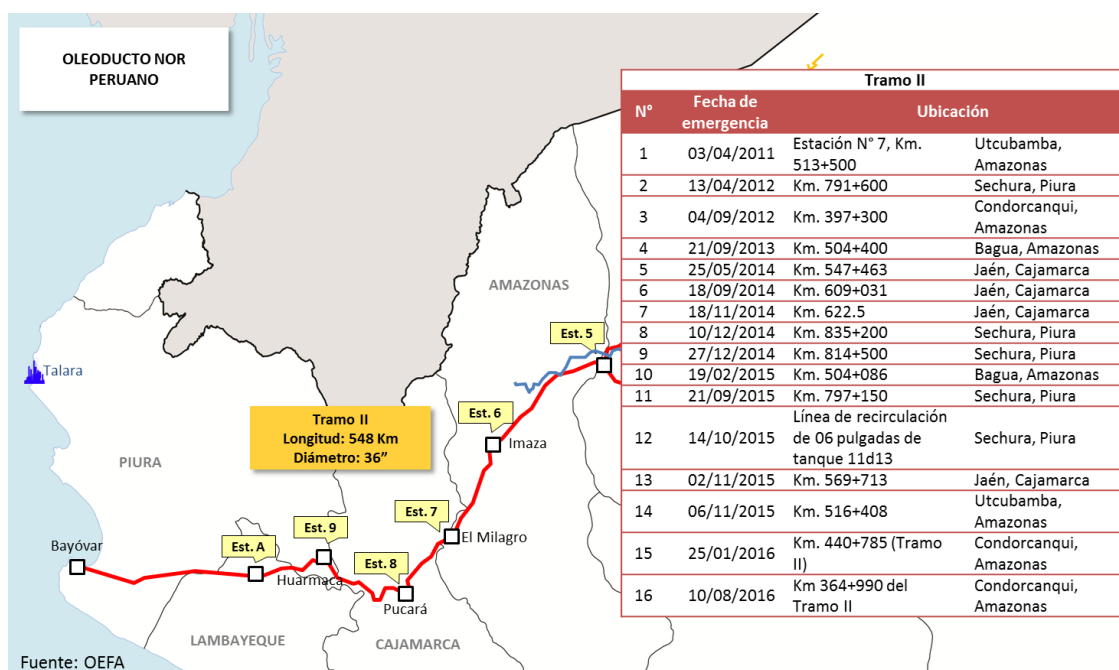
Los derrames de petróleo recientemente ocurridos en Chiriaco y Morona en la selva peruana tras las averías del Oleoducto Norperuano demuestran una vez más lo frágil que esta la industria de los hidrocarburos cuando se trata de ambientes complejos como lo es la selva peruana.

Imagen 2. 37: Fallas del ONP tramo I 2011 – 2016



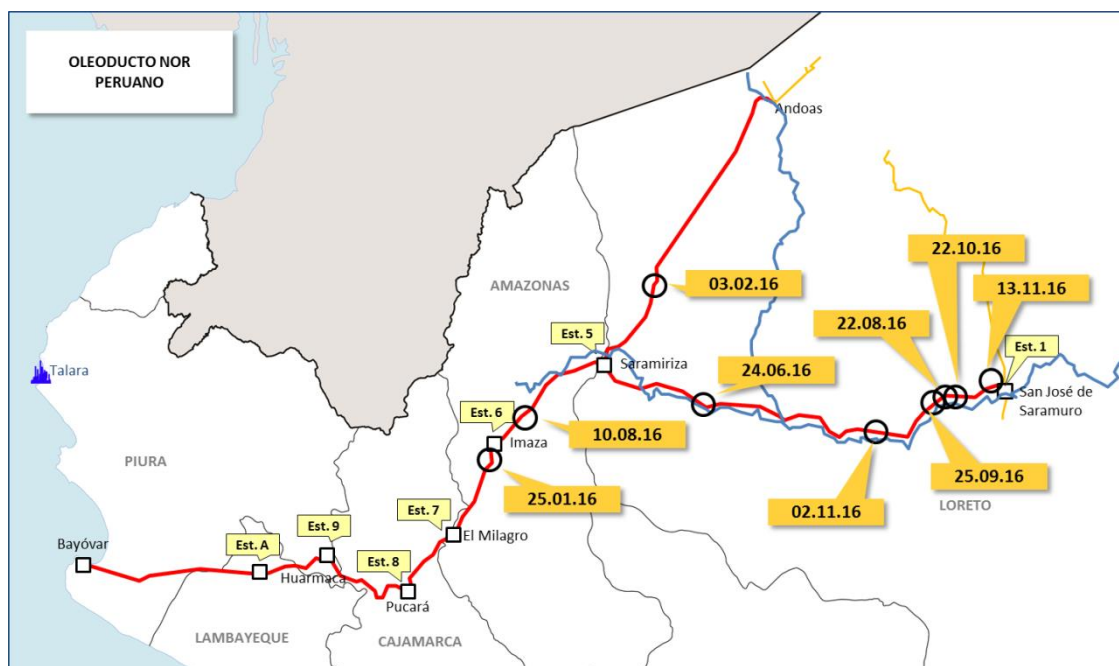
Fuente: Petroperú

Imagen 2. 38: Fallas del ONP tramo II 2011 – 2016



Fuente: Petroperú

Imagen 2. 39: Sitios potencialmente contaminados por hidrocarburos



Fuente: Petroperú

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Métodos y Alcances de la Investigación

3.1.1 Método de investigación.

3.1.1.1 Método general.

Se utilizó como método general, el método lógico-deductivo y analítico, porque se buscó establecer un criterio para identificar los diferentes escenarios de sitios contaminados por hidrocarburos y establecer las metodologías de caracterización con el fin de una eficiente recomendación de remediación. y el método analítico porque se analizó y valoró el nivel de riesgo de los sitios contaminados según los receptores potenciales de la contaminación,

3.1.1.2 Método específico.

El estudio utilizó el método descriptivo porque identificó y valoró los escenarios de donde se ubican los sitios contaminados del sector hidrocarburo a si también identifico la metodología de caracterización de sitios contaminados en Peru y en el extranjero.

3.1.2 Alcance de investigación.

La presente investigación es de tipo descriptivo, analítico y propositivo. Descriptiva porque pretende describir los diferentes escenarios o regiones donde se ubican los sitios contaminados del sector hidrocarburos en el Peru e identifica los niveles de riesgo que están enmarcados a la cantidad de receptores ambientales y la susceptibilidad de los mismos, debido a que, analiza y le otorga un orden de prioridad a la caracterización con procedimientos alineados a estándares internacionales.

La caracterización de sitios contaminados debe ser de orden dinámico determinando los diferentes escenarios, deben ser manejados en acorde a la complejidad de los escenarios, por último, es propositivo, ya que, propone una metodología de priorización para determinar las áreas que requieren caracterizar los suelos contaminados identificados como PASH.

La metodología de la investigación consistió en describir dos grupos de observación. El primero corresponde a los suelos contaminados identificados como PASH en el noroeste del Peru, el segundo a los sitios contaminados en la selva norte del Peru.

En el primer escenario los niveles de riesgo de los suelos identificados como PASH se determinaron en función a los niveles de riesgo establecidos en los informes de identificación de PASH emitidos por OEFA. Cada informe brindaba información de la ubicación del PASH, los tipos de PASH y los niveles de riesgo para los factores de salud, seguridad de la población y calidad ambiental así como la cantidad de sitios contaminados que estos representan.

En el caso del segundo escenario corresponde a los sitios contaminados en la selva norte y que se encuentran ubicados en la región de Loreto y lo que corresponde a los más 1000 kilómetros que representa el oleoducto norperuano.

En consecuencia, en el Lote 192, presenta **2159** (92+2014+132+11+68 - 77 - 81) sitios afectados por las actividades de hidrocarburos realizadas desde 1975. Siendo 92 sitios contaminados que necesitan ser caracterizados con las mejores prácticas de investigación.

Como ya se mencionó, PETROPERU es la empresa estatal encargada de la operación y mantenimiento del ONP, oleoducto donde el 2016 ocurrieron 13 derrames (12 de ellos en la selva) de hidrocarburos y uno más, en julio del año, 2017.

El estado peruano a través del FONAM viene realizando los trabajos de caracterización de los 32 sitios priorizados para remediación en la selva peruana y ha destinado una inversión aproximada de 180 millones de soles.

3.1 Nivel de Investigación

El presente estudio comprende una investigación pura, puesto que se recolectaron conocimientos de diferente índole, para que a partir de estos pueda generarse investigaciones sobre cómo abordar el tema de la caracterización para su posterior remediación de las zonas afectadas por hidrocarburos.

3.2 Métodos y Diseño de la Investigación

Métodos

3.2.1 Técnicas de recolección de datos

Para realizar el presente trabajo se realizó la recopilación de información digital y física de informes, libros y publicaciones de las siguientes instituciones públicas:

Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), PERUPETRO, PETROPERU y el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), asimismo se recabo información en línea de portales académicos como son Scribd y Academia.edu, también se recabo información de tesis y artículos científicos referido a las actividades de hidrocarburos y medio ambiente.

La información recopilada fue revisada y analizada, y en algunos de los casos, se realizó un tratamiento diferente, como sucedió con la verificación de la ubicación de sitios afectados por las actividades de hidrocarburos en la selva, en el que utilizó el software Arcgis para su georreferenciación.

La redacción del documento se realizó de forma digital mediante el uso del *software Microsoft Word 2016*, siguiendo los lineamientos indicados en el Reglamento de tesis de la Universidad Nacional de Piura.

3.2.2 Procedimiento

- (i) Análisis de la normatividad peruana en la gestión de sitios contaminados con respecto a los países de Chile y México como países latinoamericanos, de la Unión Europea a España y finalmente a Estados Unidos, para realizar este análisis se revisó las guías y normatividad del ente rector en los países mencionados y las normas ASTM que rigen para los Estados Unidos
- (ii) Se han analizado los métodos para muestreo de detalle para agua y suelo según las guías de las buenas prácticas de investigación de sitios contaminados provistos por el Ministerio del Ambiente.
- (iii) El análisis del caso de los sitios contaminados en el noroeste del Perú contempla los informes de OEFA en su segunda actualización de estudio de identificación de pasivos ambientales del sector hidrocarburos que a la fecha son los que generan mayor cantidad de sitios contaminados por hidrocarburo en el noroeste del Perú.
- (iv) Para el análisis de los sitios contaminados en la selva norte se analizó el caso del Lote 192 por ser más representativo en cuanto al escenario geográfico de la selva norte: el análisis de los sitios afectados por las actividades de hidrocarburos en el Lote 192 se realizó en base a los informes de monitoreo ambiental que el OEFA

realizó dentro y fuera del área del lote, así como, los informes generados por Pluspetrol Norte S.A y las Declaraciones de Emergencia Ambiental que generó el estado en este espacio geográfico. Adicionalmente los puntos identificados en los que se encontraron hallazgos de no congruencia con los estándares nacional de calidad ambiental para agua y suelo, así como de las normas extranjeras de comparación en sedimentos. Cabe mencionar que la normatividad peruana aún no cuenta con procedimientos para monitoreo de aguas subterráneas sin embargo se contemplan normas internacionales las cuales no se ajustan a la geografía de los sitios contaminados en cuanto a su compleja hidrografía.

- (v) Análisis del caso del Oleoducto norperuano: el análisis del caso del Oleoducto Norperuano (ONP), se realizó en base a información del ministerio de energía y minas, informes de PETROPERU y las declaraciones de emergencia que el estado declaro por los impactos negativos originados por los derrames ocurrido en el ducto mencionado. Estos anales complementa la situación de los sitios contaminados en la selva norte del Peru.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados y discusiones

4.1.1 Características de las áreas contaminadas en la zona norte PIURA

Tabla 2.3. Número de PASH con suelo contaminado en Piura

| Tipos | Número de PASH |
|-------------------|-----------------------|
| Suelo Contaminado | 2147 |
| Otro tipos | 1603 |
| Total | 3750 |

Fuente: Elaboración propia con datos del portal del MINAM

De acuerdo a la tabla 2.3 se puede observar que 2147 son sitios contaminados con Suelo contaminado, por lo tanto en este caso se debe enfocar en la remediación del Suelo contaminado.

Tabla 2.4. Número de PASH con suelo contaminado en Piura

| Nivel de Riesgo | Número de PASH |
|------------------------|-----------------------|
| Riesgo Alto | 102 |
| Riesgo medio | 1935 |
| Riesgo bajo | 10 |
| Total | 2047 |

Fuente: Elaboración propia con datos del portal del MINAM

En este caso la tabla 2.4, muestra que la mayor cantidad de PASH, es de 1935 que representa a los de Riesgo medio.

Tabla 2.5. Número de PASH con suelo contaminado en Talara y Paita

| Distribución | Número de PASH |
|--------------|----------------|
| Talara | 2082 |
| Paita | 65 |
| Total | 2147 |

Fuente: Elaboración propia con datos del portal del MINAM

En el cuadro 2.5, observamos que 2082 o sea la mayoría de PASH se encuentra en Talara y solo 65 de PASH se encuentran ubicadas en Paita, esto debido a la gran actividad de Hidrocarburos que es la principal actividad que destaca en Talara.

4.1.2 Caracterización de áreas contaminada en Lote 1 – AB (Lote 192)

El 30 de enero del 2015, Pluspetrol Norte entregó a PERUPETRO S.A., información sobre los pasivos ambientales³¹ encontrados en el Lote 1-AB, en cumplimiento del artículo 2° de la Resolución Ministerial N°536-2014 MEM/DM.

Pluspetrol manifiesta que el lote 1ab hoy Lote 192 contaba con 2014 pasivos ambientales distribuidos en diferentes tipos.

Tabla 2.10. Tipo y cantidad de pasivos en el lote 192

| Tipos de pasivos | Cantidad de pasivos |
|------------------------------------------------|---------------------|
| Agua superficial potencialmente impactada | 61 |
| Instalaciones, equipos y facilidades inactivos | 847 |
| Pozos Abandonados | 15 |
| Residuos industriales | 425 |
| Residuos Solidos | 55 |
| Sedimentos potencialmente impactados | 80 |

³¹ La designación de pasivos ambientales fue dada por la misma empresa dado que el OEFA ya había indicado que en el Lote 1-AB no se pueden configurar pasivos ambientales.

| | |
|----------------------------------|-------------|
| Suelos potencialmente impactados | 531 |
| Total | 2014 |

Fuente: Propia de la investigadora , lista de pasivos de Pluspetrol Norte (2015) ³²

En la tabla 2.6, observamos que la mayoría cantidad de Pasivos 847, están como instalaciones, equipos y facilidades inactivos, le siguen en ese orden los suelos potencialmente impactados 531 y los residuos industriales 425, esto indica que gran porcentaje de pasivos han causado un gran daño al medio ambiente y necesitan realizar las medidas de mitigación o de recuperación propuestas por la OEFA.

Tabla 2. 11: Pasivos Identificados por Plus Petrol en la cuenca del Lote 192

| Tipo de pasivos ambientales | Cantidad |
|-----------------------------|-------------|
| Cuenca del Río Pastaza | 873 |
| Cuenca del Río Corrientes | 697 |
| Cuenca del Río Tigre | 438 |
| Distrito de Trompeteros | 6 |
| TOTAL | 2014 |

Fuente: Propia de la investigadora, lista de pasivos de Pluspetrol Norte (2015)

En la tabla 2.7, encontramos los pasivos que identificó PlusPetrol Norte, en la cuenca del Lote 192, también indica una gran cantidad afectando especialmente al Rio Pastaza, el Rio Corrientes y el Rio Tigre, por lo que también en esta cuenca se debe realizar una remediación o medidas de recuperación del agua, en el sentido que muchas de las comunidades asentadas en estas cuencas, utilizan el agua del río para sus actividades diarias.

Tabla 2.7a. Pasivos Identificados por OEFA en la cuenca del Lote 192

| CUENCA | NUMERO DE SITIOS CONTAMINADOS |
|--------------|-------------------------------|
| Pastaza | 38 |
| Tigre | 37 |
| Corrientes | 17 |
| TOTAL | 92 |

Fuente: Propia de la investigadora de informe N°411-2014-OEFA/DS-HID³³

³² Pluspetrol Norte S.A. 2015. Informe de identificación de pasivos ambientales en el Lote 1-AB

En la tabla 2.7a, apreciamos que los encontrados por OEFA, difiere con lo que encontró Plus Petrol, en el sentido, que encontró solo 92 sitios impactados, y también en los ríos Pastaza 38, Tigres 37 y Corrientes 17.

Tabla 2. 12: Parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental.

| Componente ambiental | Parámetros excedidos con mayor frecuencia |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Agua | pH, OD, P Total, Pb, aceites y grasas |
| Sedimento | As total, Cd total, Cu total, Cr Total, Zinc Total, Hg Total, HTP |
| Suelo | Ba, Pb, FH 2, FH3. |

Fuente: Propia de la investigadora

En la tabla 2.8. se presentan los parámetros que exceden con mayor frecuencia los LMP, en los tres componentes ambientales, destacando en el agua los aceite y grasas, y plomo. En sedimentos metales mercurio e Hidrocarduro (HTP).

³³ Morales, D., Merino, M., Fajardo, L., Tafur, K., Boy, S., 2014. Resumen ejecutivo sobre la situación ambiental del Lote 1-AB operado por la empresa Pluspetrol Norte S.A. Lima, Perú. OEFA. Informe N° 4112014-OEFA/DS-HID

Tabla 2. 13: Hallazgos de parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental

| Documentos | Sitios |
|------------------------|-------------|
| Informe N°411-2014OEFA | 92 sitios |
| IPA | 2014 sitios |
| IISC | 132 sitios |
| I.M.P.S.A 2015 | 11 sitios |
| IMP 2016 | 68 sitios |

Fuente: Propia de la investigadora

En la tabla 2.9 presenta el resumen de los hallazgos de parámetros excedidos con mayor frecuencia por variable ambiental, OEFA (Organismo de Fiscalización Ambiental), en su Informe N°411-2014-OEFA/DS-HID, se reportan 92 sitios con parámetros excedidos, el Informe de Pasivos Ambientales de Pluspetrol Norte*, reporta 2014 sitios con parámetros excedidos, el Informe de Identificación de Sitios Contaminados de Pluspetrol Norte (IISC), por su parte reporta 132, el Informe de Monitoreo participativo en suelta de área del Lote 1-AB (I.M.P.S.A.) encontro 11 sitios con parámetros excedidos y el Informe de Monitoreo participativo en el Lote 192 (I.M.P.), encontró 68 sitios con parámetros excedidos. Esto indica pues que los sitios reportados que exceden los parámetros ambientales se reporta con mayor frecuencia en el informe de pasivos ambientales de Pluspetrol – Norte.

4.1.3 Oleoducto Norperuano

Es una de las obras más importantes y de mayor envergadura que se haya realizado en los últimos 100 años en el Perú. La historia se inició en 1972, cuando el Gobierno encargó a PETROPERÚ S.A., dependiente en aquella época del Ministerio de Energía y Minas, realizar los estudios requeridos para la construcción del Oleoducto Norperuano (ONP) y plantear los contratos con las compañías capaces de efectuar tal obra.

El contrato para el diseño definitivo fue adjudicado en 1973 a la firma Bechtel, y la entrega del expediente para licitar la construcción concluyó en junio de 1974.

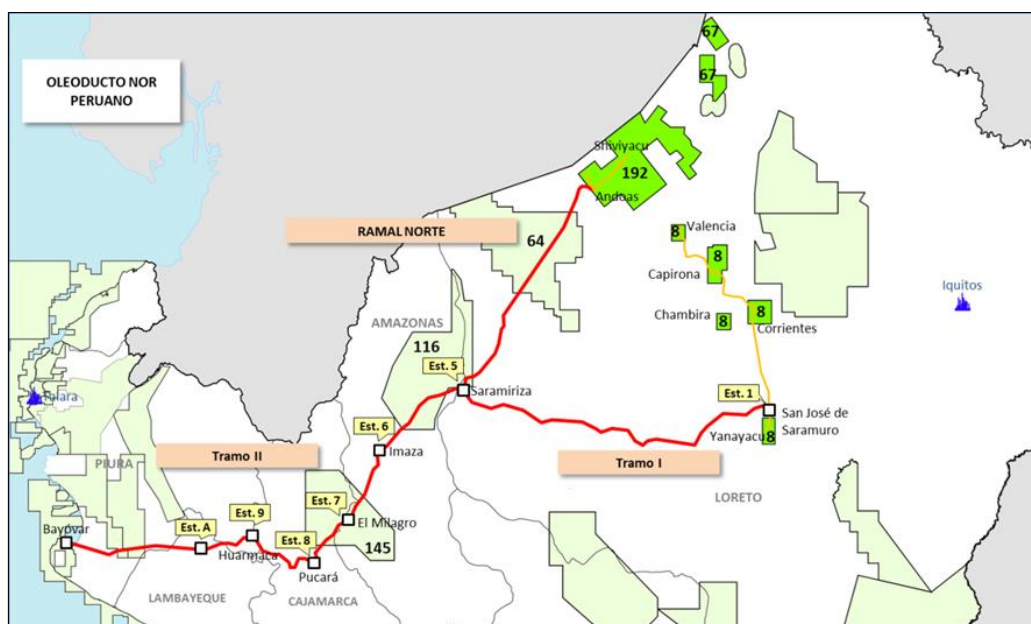
La construcción del ONP comenzó en setiembre de 1974 y demandó una gran cantidad de mano obra. Durante su período de mayor actividad, se requirió la

participación de 7,800 trabajadores. Además, gracias a la pericia y experiencia de los mejores constructores de oleoductos del mundo, la construcción solo demoró dos años.

Es así que, para el 31 de diciembre de 1976, la Estación 1 del ONP (San José de Saramuro) recibió petróleo de los yacimientos de PETROPERÚ S.A., llegando el primer frente de petróleo crudo al Terminal de Bayóvar el 24 de mayo de 1977.

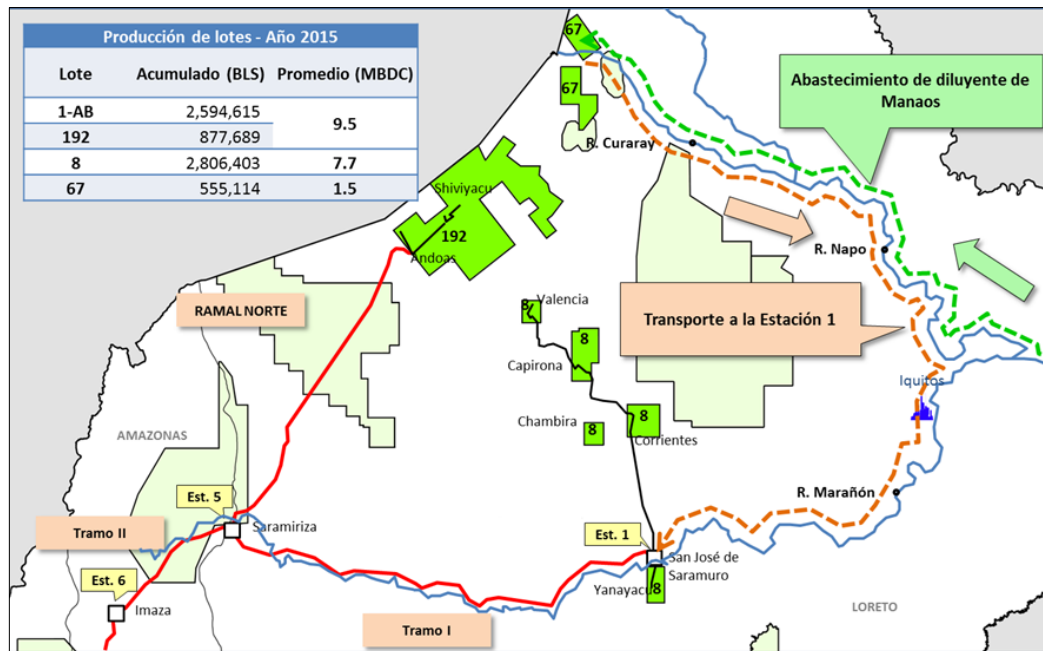
Para el 7 de junio de 1977, el buque tanque Trompeteros realizó el primer embarque de crudo con destino a la Refinería La Pampilla, en Lima. En el año 1976 se inició la construcción del Oleoducto Ramal Norte (ORN) para transportar petróleo crudo desde la Estación Andoas hasta la Estación 5, entrando en operación el 24 de febrero de 1978.

Imagen 2. 40: Oleoducto Norperuano



Fuente: Petroperú

Imagen 2. 41: Producción de crudo de lotes 192, 8 y 67



Fuente: Petroperú

PETROPERU es la empresa estatal encargada de la operación y mantenimiento del ONP, oleoducto donde el 2016 ocurrieron 13 derrames (12 de ellos en la selva) de hidrocarburos y uno más, en julio del año, 2017.

Los derrames de petróleo recientemente ocurridos en Chiriaco y Morona en la selva peruana tras las averías del Oleoducto Norperuano demuestran una vez más lo frágil que esta la industria de los hidrocarburos cuando se trata de ambientes complejos como lo es la selva peruana.

Los resultados de los análisis en cuanto a los procedimientos para la gestión de sitios contaminados por hidrocarburos en el Peru, y del cual se desprende la fase de caracterización de los sitios contaminados (Fase II), se puede evidenciar que has sido tomados en cuenta de la normas ASTM de estados unidos **ASTM E1903 Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process.** (Guía para la evaluación ambiental de terrenos: Fase II Procesos de evaluación ambiental del sitio.

México mediante la “*guía técnica para orientar la elaboración de estudios de caracterización de sitios Contaminados*” Primera edición: Septiembre 2010 estable casos de sitios contaminados por hidrocarburos a sitios productos de los pasivos ambientales y a las emergencias ambientales que se podrían suscitar durante las operaciones de explotación de hidrocarburos, también podemos observar que México viene dando un gran avance con metodologías de tomografía de resistividad eléctrica para la caracterización de sitios contaminados por hidrocarburos, siendo estos más eficientes en cuanto al costo con respecto al método analítico en un 60% si se usan ambos métodos.

Los resultados del análisis a las guías de muestreo de suelo y agua, si bien contribuyen a delimitar la extensión vertical de la contaminación, el Perú aún no cuenta con ECAs para aguas subterráneas, aún es muy deficiente la caracterización de las aguas subterráneas siendo esto un factor importante para comprender el comportamiento de los contaminantes que podría aflorar o tener como destino el mar, como lo que ocurre en el noroeste del Perú.

Dentro de los resultados de los monitoreos en la selva norte encontramos que los parámetros que han sido sobre pasados con mayor frecuencia son:

| Componente ambiental | Parametros excedidos con mayor frecuencia |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Agua | pH, OD, P Total, Pb, aceites y grasas |
| Sedimento | As total, Cd total, Cu total, Cr Total, Zinc Total, Hg Total, HTP |
| Suelo | Ba, Pb, FH 2, FH3. |

Fuente: Propia de la investigadora

Los métodos de caracterización de sitios contaminados en selva son analíticos, lo cual demanda grandes recursos en muestreo de detalles y que muchas veces estos no son representativos dado al comportamiento dinámico de los contaminantes por la hidrogeología compleja propia de la selva. La caracterización de suelos contaminados en el caso de los hidrocarburos de petróleo y metales pesados no existe aún regulación alguna para la caracterización de: Aguas contaminadas de acuíferos someros y profundos que es caso de la selva norte.

Los altos costos logísticos acompañado de gestiones de cambio de los proyectos de caracterización, dificulta el correcto análisis conceptual del sitio, esto debido que los contaminantes vertidos datan de décadas y las condiciones meteorológicas transportan a

los contaminantes por varios kilómetros del punto de vertimiento inicia, lo cual dificulta la caracterización y la determinación del punto inicial del vertimiento con esto difícilmente se podrá encontrar o demostrar los responsables.

En el noroeste del Perú, se encuentran según la estimación de nivel de riesgo realizado por el OEFA, de las 2147 áreas de suelo contaminado identificados como PASH, 102 son de riesgo alto, es decir, representan una alta amenaza para la zona en la que se ubican; 1935 de riesgo medio, representan una amenaza media para la zona en la que se ubican. Hasta el momento no se realizan estudios de investigación para la caracterización de los sitios contaminados producto de los PASH, sin embargo a los sitios contaminados actuales producto de las emergencias ambientales si se viene realizando caracterización de sitios.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo: Establece niveles permisibles para benceno / tolueno / etilbenceno / xileno (BTEX), naftaleno, fracción de hidrocarburos ligeros (C5 a C10), fracción de hidrocarburos medianos (C10 a C28), fracción de hidrocarburos pesados (C28 a C40), benzo (a) pireno, bifenilos policlorados (PCBs), aldrina, endrina, DDT, heptacloro, cianuro, arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurito y plomo. Hay límites diferentes para usos agrícolas, residenciales, y comerciales / industriales. El rango de concentración permisible para fracción de hidrocarburos C5 a C10 es de 200 a 500 mg/kg. El rango de concentración permisible para fracción de hidrocarburos de C10 a C28 y C28 a C40 es de 1.200 a 5.000 mg/kg. El límite dentro de estos rangos depende en el uso previsto del terreno.

CONCLUSIONES

Las fuentes más importantes de contaminación en los sitios petroleros y sus contaminantes más comunes son: los lodos de perforación (bario, sulfato); el petróleo crudo (hidrocarburos de petróleo, metales); el agua producida (sales, metales, hidrocarburos de petróleo, y materiales radioactivos); y los productos químicos utilizados en las operaciones de mantenimiento (ácido clorhídrico, biosidas). Los sitios con suelo contaminado por derrames de petróleo o agua producida comúnmente tienen también aguas subterráneas contaminadas. Los hidrocarburos de petróleo, metales, y sales pueden estar adsorbidos en el suelo y también se moverán con las aguas subterráneas para ser introduciéndose en los acuíferos y en aguas superficiales gradiente abajo.

Aunque las guías de MINEM y MINAM contienen muchos elementos para caracterizar y remediar suelos contaminados por petróleo, hay elementos técnicos importantes que faltan en las guías. Además, en los estándares de calidad ambiental (ECAs) para agua y suelo faltan unos contaminantes importantes para evaluar la condición ambiental de sitios contaminados por operaciones petroleras, y a veces los estándares son menos exigentes en comparación con estándares en otros países. Adicionalmente, los criterios de limpieza establecidos en las guías son diferentes (a veces más estrictos, a veces menos estrictos) que los ECAs para suelo o agua.

Las áreas de preocupación mayor son las siguientes:

- No hay requisitos o recomendaciones para la rehabilitación de los sitios que han sido contaminados por derrames de agua producida. Un derrame o descarga de agua producida tiene diferentes contaminantes que un derrame de petróleo crudo, incluso contiene sales y elementos radioactivos, y los métodos para remediación exitosa son diferentes.
- En la práctica en Loreto, el enfoque de la remediación ha sido solamente en torno a los suelos. No existen estándares de limpieza o de calidad ambiental en el Perú para los sedimentos acuáticos, y los valores de una serie de parámetros deben ser diferentes de aquellos para los suelos debido a que el sedimento está en contacto directo con la vida acuática. Por ejemplo, hay concentraciones altas de cadmio, un metal toxico para la vida acuática, en los suelos contaminados de Loreto, y lineamientos canadienses para cadmio en sedimento acuático son

aproximadamente 15 veces más bajos (más estrictos) que los estándares de suelo para suelo de uso residencial o en parques.

- El agua subterránea se percibe principalmente como una vía de transporte de contaminantes, no como un medio de preocupación directo. No hay pautas detalladas para caracterizar el agua subterránea contaminada por petróleo o para remediar el agua subterránea. Por ejemplo, el Plan Ambiental Complementario del Lote 8 no requiere la limpieza o caracterización de agua subterránea para sitios en Lote 8X.
- La Guía para La Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos establece que una Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) es opcional. La ERSA podría ser una herramienta importante para obtener información biológica. Además, solo requiere el monitoreo biológico después de las obras de remediación. Es importante gestionar un monitoreo biológico antes, durante, y después del proceso de remediación.
- En general, los estándares de calidad ambiental en el ECA para Suelo del Perú son menos estrictos que los lineamientos similares canadienses, los cuales forman la base para los estándares peruanos. Los suelos contaminados por petróleo en Loreto tienen concentraciones altas de fracciones tóxicas de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH en inglés), y los estándares son menos estrictos que los lineamientos canadienses.
- Además, los lineamientos canadienses para TPH son más estrictos para contaminación cerca de zonas residenciales – el Perú no tiene precauciones similares.
- El ECA para Agua no tiene estándares para los parámetros radiológicos, que son contaminantes importantes para aguas afectadas por agua producida. Los Criterios de Restauración para el Agua³⁴
- Tienen un estándar para radio-226, pero es menos estricto que lo de los EEUU o de Canadá. No hay ningún estándar para uranio en el ECA para Agua o en los Criterios de Restauración para el Agua.

³⁴ MINEM, 1993. Guía Ambiental Para la Restauración de Suelos en Instalaciones de Refinación y Producción Petrolera. Cuadro 6-4. Criterios de Restauración para el Agua.

- La toxicidad de algunos de los metales en el ECA para agua en Categoría 4 (Conservación del Ambiente Acuático), como cadmio, cobre, plomo y zinc, dependen de la dureza u otros parámetros generales en el agua. Pero, a diferencia de los criterios en los EEUU y Canadá, los estándares peruanos no consideran dureza y son menos estrictos que en otros países, especialmente en ríos de baja dureza como en Loreto.

RECOMENDACIONES

Caracterización

- Se necesita orientación adicional para la caracterización y remediación de los siguientes medios ambientales: suelos afectados por derrames de agua producida; agua subterránea; y sedimento acuático.
- Más estudios se necesitan para entender la ubicación y tamaño de fuentes de contaminación y los destinos donde los contaminantes han sido transportados en componentes del ambiente como suelo, agua subterránea, ríos, manantiales, y en plantas y animales terrestres y acuáticos, incluso en aves.
- Se necesita estudios de toxicidad (para contaminantes asociados con operaciones petroleras) usando la vida acuática de los ríos de Loreto.

La caracterización debe incluir un análisis físico-químico completo de las aguas, los suelos potencialmente afectados, la biota, y una evaluación de la extensión geográfica completa de los efectos. Del mismo modo, si el monitoreo de contaminantes en todas las fases de caracterización y remediación está mal diseñado, el éxito de los esfuerzos de remediación no se puede verificar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Dr. Phil. Walter E. Petrascheck y Carlos Castells “Yacimientos y Criaderos” Ediciones Omega, S.A. de C.V. Casanova, 220 Barcelona, 1965.
- E. Lopez Ramos Geología General Tomo I 5ª. Edición.
- Xiomara, R 2019 Áreas que requieren remediación prioritaria de suelos contaminados como PACH en función del ZEE de la región Piura.
- OIT (Organización Internacional de Trabajo, Ginebra).1998. Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo v. 3., Parte XI: Industrias basadas en Recursos Naturales, C.75: Petróleo Prospección y perforación, 4 ed, Richard S. Kraus, Madrid, España, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales p. 3056.
- Arrieta, .O, 2011. Evaluación de la influencia del bioestimulo sobre un suelo contaminado con diesel y su integración a la gestión ambiental. Tesis. Magister. Medellín, Colombia.UNAL
- **Sermarnat.** Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. *Sermarnat Web site.* [En línea] 09 de noviembre de 2015. [Citado el: 10 de Noviembre del 2019.] <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pd>.
- **Leonel S.** Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes Chile
- Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de caracterización de sitios Contaminados Primera edición: Septiembre 2010 México.
- Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process. E1903 - 11
- Guía para el Muestreo de Suelos. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental. - Lima: MINAM, 2014.
- Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de suelo. MINAM Septiembre 2016.
- Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas. MINAM Septiembre 2016.